

Christin Streubel

Prozessanalyse bei der Erzeugung von dekorativen  
PVD- Hochglanzschichten unter Berücksichtigung von  
Oberflächenfehlern

eingereicht als

DIPLOMARBEIT

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)  

---

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCE

Fertigungstechnik /Oberflächentechnik

Dresden, 2009/2010

Wintersemester 2009/2010

1. Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Frank Köster  
2. Prüfer: Dipl.- Chemiker Tobias Müller

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

## **Bibliographische Beschreibung**

Streubel, Christin:

Prozessanalyse bei der Erzeugung von dekorativen PVD- Hochglanzschichten unter Berücksichtigung von Oberflächenfehlern. -2009. -107 S.

Dresden, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Fertigungstechnik/ Oberflächentechnik, Diplomarbeit (FH), Seminargruppe WI05w1

## **Kurzreferat:**

Die vorliegende Diplomarbeit setzt sich mit der Problematik des Auftretens von Fehlererscheinungen auf Oberflächenveredelungen auseinander.

Dazu werden zunächst verschiedene Beschichtungsfehler ermittelt und identifiziert um anschließend Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Beeinflussende Parameter überprüft, untersucht und anhand unterschiedlicher Versuche näher analysiert, um Erkenntnisse über das Auftreten der Fehlererscheinungen auf den Artikeln zu ermitteln.

.

## **Danksagung**

Ich danke meinen beiden Betreuern Herrn Prof. Dr. rer. nat. Frank Köster von der Hochschule Mittweida, sowie Herrn Dipl.- Chem. Tobias Müller von der Firma Creative Vakuumbeschichtung GmbH für die Beratung und Anleitung der vorliegenden Diplomarbeit.

Ich danke den Mitarbeitern Herrn Poschmann sowie Herrn Gehrke von der Hochschule Mittweida, für die Unterstützung der mikroskopischen und rastermikroskopischen Untersuchungen.

Weiterer Dank gilt den Angestellten der Firma Creavac, die mich stets bei auftretenden Problemen unterstützten.

Besonderen Dank möchte ich meiner Familie sowie meinem Freund Peter für die Unterstützung und die Geduld beim Entstehen dieser Arbeit aussprechen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Bibliographische Beschreibung .....</b>	<b>II</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einführung.....</b>	<b>12</b>
1.1 Bedeutung der Kunststoffe in der Wirtschaft .....	12
1.2 Das Unternehmen Creavac .....	13
1.3 Problemstellung.....	14
<b>2 Grundlagen der Oberflächenveredelung von Kunststoffen.....</b>	<b>15</b>
2.1 Vorbehandlung .....	15
2.2 Beschichtung.....	17
2.2.1 Lackieren.....	17
2.2.2 Metallisieren .....	20
2.3 Probleme bei der Oberflächenbeschichtung .....	22
<b>3 Produktionsprozess der Firma Creavac .....</b>	<b>27</b>
3.1 Ablauf der Lohnbeschichtung.....	27
3.1.1 Wareneingang/ Versand.....	27
3.1.2 Bestückung.....	27
3.1.3 Lackieren.....	28
3.1.4 Metallisieren/ Bedampfen .....	33
3.1.5 Entstückung.....	34
3.1.6 Qualitätssicherung/ Qualitätsmanagement.....	34
3.1.7 Endkontrolle .....	35
3.2 wirtschaftliche Betrachtung.....	38
3.3 Ablaufschema der Untersuchung .....	40
<b>4 Fehleranalyse und Bearbeitung .....</b>	<b>41</b>
4.1 Analyse der Fehlerbereiche.....	41
4.2 Wässrige Reinigung .....	43
4.3 Einflussgrößen Lackkabine .....	43

4.4	Trocknungsprozess .....	45
4.5	Untersuchungsverfahren .....	45
4.5.1	Stereomikroskopie.....	46
4.5.2	Mikroschliff .....	47
4.5.3	Rasterelektronenmikroskopie .....	50
4.6	Glimmversuche .....	52
4.7	Lackmuster.....	55
<b>5</b>	<b>Auswertung der Ergebnisse .....</b>	<b>60</b>
5.1	Wässrige Reinigung .....	60
5.2	Einflussgrößen Lackkabine .....	61
5.3	Trocknungsprozess .....	66
5.4	Untersuchungsverfahren .....	68
5.4.1	Stereomikroskop .....	68
5.4.2	Mikroschliff .....	68
5.4.3	Rasterelektronenmikroskopie .....	69
5.5	Glimmversuche .....	71
5.6	Lackmuster.....	72
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>74</b>
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>76</b>
	Anlagenverzeichnis.....	76
	Anlage 1: Nachkalkulation der Verteiler von 02.06. - 28.08.2009 .....	77
	Anlage 2: Analyse der Fehlerbereiche von 55 Verteilern (090826).....	80
	Anlage 3: Dokumentation Lackkabine 1 .....	81
	Anlage 4: Stereomikroskopie der grundlackierten PC- Muster.....	83
	Anlage 5: Mikroschliff der Start- Stop- Taste.....	84
	Anlage 6: Mikroschliff des Verteilers .....	87
	Anlage 7: Mikroschliff des Kugelschreibers.....	91
	Anlage 8: EDX- Analyse, Teil 1 .....	95
	Anlage 9: EDX- Analyse, Teil 2.....	98
	Anlage 10: Dokumentation über Lackierung der gereinigten Verteiler .....	100
	Anlage 11: Fehlerbildverteilung der Waschung (09082801) .....	101
	Anlage 12: Nachweis der gemessenen Objekttemperatur .....	103
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>104</b>
	<b>Ehrenwörtliche Erklärung .....</b>	<b>107</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Branchenanteile von Kunststoffen [1].....	12
Abbildung 2: Kunststoffaktivierung [9].....	17
Abbildung 3: Technische Einflüsse auf das Lackergebnis [2, S.19].....	22
Abbildung 4: Läufer in der Draufsicht [19].....	23
Abbildung 5: Läufer in isometrischer Darstellung [20].....	23
Abbildung 6: Krater in der Draufsicht [2, S.690].....	24
Abbildung 7: Krater in isometrischer Darstellung [20] .....	24
Abbildung 8: Kocher in mikroskopischer Ansicht [2, S.690] .....	25
Abbildung 9: Kocher in Schnitt- darstellung [23] .....	25
Abbildung 10: Nadelstiche [19] .....	25
Abbildung 11: Nadelstiche in Schnittdarstellung [23] .....	25
Abbildung 12: Staubeinschlüsse [19].....	26
Abbildung 13: Orangenhaut [19] .....	26
Abbildung 14: Spindellackierautomat.....	30
Abbildung 15: Vakuumanlage mit Verdampferquellen .....	34
Abbildung 16: Vorderteil.....	41
Abbildung 17: Oberteil .....	41
Abbildung 18: Verteiler.....	41
Abbildung 19: Muster 3, PC mit Grundlack .....	46
Abbildung 20: Muster 4, PC mit Grundlack .....	46
Abbildung 21: dekorativ beschichtetes Vorderteil .....	46
Abbildung 22: dekorativ beschichteter Verteiler .....	46
Abbildung 23: Bauteil 1 “Start- Stop- Taste“ - Detail 1, n.i.O.- Bereich .....	47
Abbildung 24: Bauteil 1 „Start- Stop- Taste“ - Detail 2, n.i.O.- Bereich .....	47
Abbildung 25: Bauteil 2 “Start- Stop- Taste“ - Detail 1, n.i.O.- Bereich .....	47
Abbildung 26: Bauteil 2 “Start- Stop- Taste“ - Detail 2, n.i.O.- Bereich .....	47

Abbildung 27: Bauteil 1 "Verteiler" – Detail, i.O.- Bereich .....	48
Abbildung 28: Bauteil 2 "Verteiler" – Übersicht, n.i.O.- Bereich .....	48
Abbildung 29: Bauteil 2 "Verteiler" - Detail 1, n.i.O.- Bereich .....	48
Abbildung 30: Bauteil 1 "Kugelschreiber" - Übersicht, n.i.O.- Bereich.....	49
Abbildung 31: Bauteil 1 "Kugelschreiber" – Detail, n.i.O.- Bereich.....	49
Abbildung 32: Bauteil 2 "Kugelschreiber" - Detail n.i.O.- Bereich.....	49
Abbildung 33: Bauteil 2 "Start- Stop- Taste" n.i.O.- Bereich.....	50
Abbildung 34: Bauteil 2 "Start- Stop- Taste" n.i.O.- Bereich.....	50
Abbildung 35: "Verteiler" .....	51
Abbildung 36: "Verteiler" n.i.O.- Bereich .....	51
Abbildung 37: "Verteiler" n.i.O.- Bereich .....	51
Abbildung 38: „CREAMET 250 CVD 2K“ .....	52
Abbildung 39: Positionierung der Vorderteile, Seitenansicht.....	71
Abbildung 40: Positionierung der Vorderteile; Draufsicht.....	71

## Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Verteiler 2009 .....	36
Diagramm 2: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Vorderteile 2009..	36
Diagramm 3: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Oberteile 2009 ....	36
Diagramm 4: Einflussverhalten der Luftfeuchte gegenüber dem erfolgtem Ausschuss .....	61
Diagramm 5: Einflussverhalten der Gesamtschichtdicke gegenüber dem erfolgtem Ausschuss.....	62
Diagramm 6: Einflussverhalten des Spritzdruckes gegenüber dem erfolgtem Ausschuss .....	63
Diagramm 7: Einflussverhalten der Wärmetrocknung gegenüber dem erfolgtem Ausschuss .....	64
Diagramm 8: Übersicht Ausschuss bezogen auf die Wochentage.....	64
Diagramm 9: Vergleich der verantwortlichen Lackierer für die Grundlackierung bezüglich des Ausschuss.....	65



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Aufgaben einzelner Lackschichten.....	19
Tabelle 2: Zusammensetzung der Herstellkosten .....	39
Tabelle 3: Glimmversuch: Mittelfrequenz/ Argon .....	53
Tabelle 4: Glimmversuch: Mittelfrequenz/ Argon und Sauerstoff .....	53
Tabelle 5: Glimmversuch: Gleichstrom/ Argon.....	53
Tabelle 6: Glimmversuch: Gleichstrom/ Argon und Sauerstoff.....	53
Tabelle 7: Glimmversuch: Temperung mit Gleichstrom/ Argon.....	54
Tabelle 8: Glimmversuch: Temperung mit Mittelfrequenz/ Argon .....	54
Tabelle 9: Lackversuch: "PVD- Top- Coat", Berlac .....	56
Tabelle 10: Lackversuch: "Laborprodukt", Mankiewicz .....	57
Tabelle 11: Lackversuch: "Alexit- Decklack", Mankiewicz.....	58
Tabelle 12: Lackversuch: "HighGloss- Clearcoat", Mankiewicz .....	59
Tabelle 13: Ofenuntersuchung: "Neuer Ofen", vordere Reihe .....	67
Tabelle 14: Ofenuntersuchung: "Neuer Ofen", hintere Reihe.....	67
Tabelle 15: Ofenuntersuchung: "Neuer Ofen", vordere Reihe .....	67
Tabelle 16: Ofenuntersuchung: "Neuer Ofen", hintere Reihe.....	67
Tabelle 17: Auswertungen EDX 1 - EDX 7 (wt %) .....	69
Tabelle 18: EDX 8 - EDX 9 (wt%) .....	70

## Formelverzeichnis

I .....	Stromstärke .....	[mA]
n .....	Teilchenanzahl	
p .....	Gasdruck .....	[mbar]
r .....	Teilchenradius	
t .....	Zeit .....	[min]
U .....	Spannung .....	[V]
$\lambda$ .....	mittlere freie Weglänge .....	[cm]

## **Abkürzungsverzeichnis**

ABS	Acrylnitril- Butadien- Styrol- Copolymer
AFM	Atomkraftmikroskop (engl. atomic force microscope)
ccm	Kubikzentimeter
i.O.	in Ordnung
n.i.O.	nicht in Ordnung
PA	Polyamid
PC	Polycarbonat
PKS	Personalkostensatz
PUR	Polyurethan
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
SKT	Skalenteile
Stck.	Stück
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung

# 1 Einführung

## 1.1 Bedeutung der Kunststoffe in der Wirtschaft

„Die kunststoffverarbeitende Industrie ist... einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige in Deutschland“ [1]. Durch die Vielfalt an Kunststofftypen und deren fortlaufenden verbesserten Varianten, erstreckt sich ihre Anwendung auf nahezu alle Lebensbereiche. Ihre Haupteinsatzgebiete sind die Verpackungsindustrie, Bauwesen, Elektrotechnik und der Automobilbau.

Kunststoffe zeichnen sich gegenüber anderen Werkstoffen durch eine Breite an physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften aus. Mit Hilfe unterschiedlicher Modifikationen sind sie vielseitig verwendbar. Das bedeutet, Kunststoffe lassen sich je nach Bedarf zu festeren, zäheren, temperatur- oder korrosionsbeständigeren Werkstoffen verändern. Des Weiteren überzeugen plastische Werkstoffe durch konstruktive Vorteile; mittels Pressen, Gießen oder Spritzen können sie in nahezu jede Form gebracht werden [2, S.482]. Aufgrund dieser Besonderheiten und der vielfältigen Produktpalette dieses Wirtschaftszweiges erreichten im Jahre 2008 292.000 Beschäftigten in über 2.900 Betrieben, ein Jahresumsatz von etwa 54 Mrd. €. [1]

Für Kunststoffe stellt Erdöl eine wichtige Rohstoffquelle dar. Verglichen jedoch mit Holz oder metallischen Werkstoffen ist der Energieaufwand zur Herstellung deutlich geringer [3, S.16].

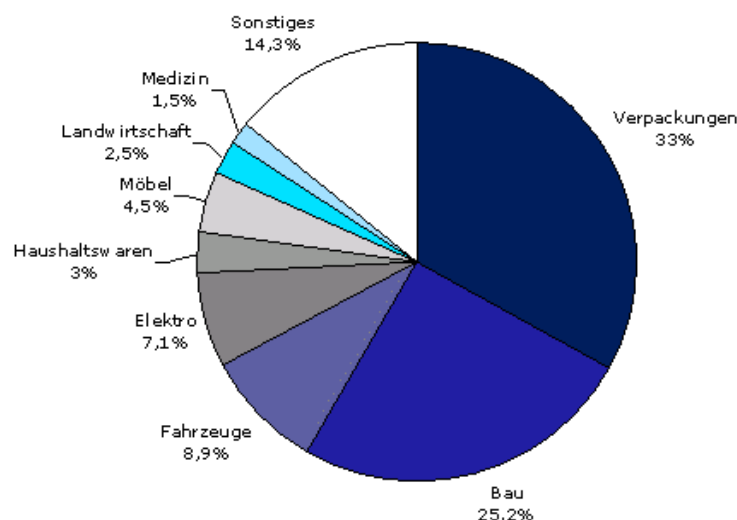


Abbildung 1: Branchenanteile von Kunststoffen [1]

## 1.2 Das Unternehmen Creavac

Creative Vakuumbeschichtung GmbH (nachfolgend CREAVAC genannt) ist ein mittelständiges Dienstleistungsunternehmen, welches auf Kunststoff-Beschichtungen mittels PVD- Technologien spezialisiert ist. Creavac wurde 1998 gegründet und seitdem immer weiter ausgebaut, so dass das Unternehmen derzeit etwa 90 erfahrene Mitarbeiter beschäftigen kann. Es gliedert sich in drei große Geschäftsbereiche:

- Lohnbeschichtung
- Anlagenkonstruktion und -bau
- Forschung und Entwicklung

mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Technologien und Leistungen. Zum Leistungsspektrum der Lohnbeschichtung gehört eine Reihe von Prozessen zur Herstellung verschiedener Oberflächenveredelungen. Anhand von Vakuum-Metallisierungstechnologien ist es der Creavac möglich, Schichten funktioneller als auch dekorativer Art herzustellen.

- Schichten zur Abschirmung von Störungen zwischen Geräten (EMV)
- PVD- Schichtdicken  $>10\mu\text{m}$  zur Herstellung lötfähiger Schichten mit gleichzeitiger EMV- Schutzwirkung
- Optisch teildurchlässige und Infrarot- reflektierende Metallschichten auf Au-, Ag-, Al-, Cu- (u.a.) Basis, für Reflektoren, Beleuchtungen oder Hitzeschutzvisiere
- Dekorative Beschichtungen mit Metallic- Effekten auf Kunststoffteilen

Hinzukommende Technologien sind:

- Kunststofflackierungen mittels Spindelautomaten
- Lasergravuren, für z.B. Bedienelemente mit Tag- Nacht Design
- Tampondruck mit Schriften und Symbolen, z.B. Getränkehalter im Automobilinterieur [4]

### 1.3 Problemstellung

Das Beschichten von Kunststoffteilen geschieht aus dekorativen Gründen, es soll dem Grundkörper ein metallisches Aussehen verleihen. Die Anforderungen dieser Schichten sind sehr hoch, da selbst kleinste Anteile fremder Substanzen diesen Effekt beeinträchtigen.

Trotz sorgfältiger Arbeitsvorbereitung, gut entwickelter Applikationstechnik und dem Einsatz anspruchsvoller Lacksysteme lassen sich optische Imperfektionen bei einer Lackierung nie vollständig ausschließen. Die Beseitigung von Fehlstellen nimmt Zeit und vor allem zusätzliche Kosten in Anspruch.

Bei der Herstellung von dekorativen Hochglanzschichten mittels thermischen Bedampfens widerfahren Creavac in Dresden hohe Ausschussquoten. Dabei weisen die Verluste Oberflächenfehler in Form von Bläschen bzw. Pickelchen auf. Des Weiteren ist zu beobachten, dass gleiche Artikel aus einer Charge zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Diese sogenannten „Dekorative Teile“ werden mit einem Mehrschichtsystem, bestehend aus der Grundlackierung der Kunststoffteile, einer Metallisierung im Hochvakuum mit Aluminium oder Nickel- Chrom sowie einer abschließenden Decklackierung versehen. Es wird vermutet, dass die Qualitätsprobleme, welche im Wertschöpfungsprozess entstehen, auf einer fehlerhaften Grundlackierung beruhen.

Ziel ist es den dekorativen Beschichtungsvorgang zu optimieren, um die Effektivität und die Effizienz des Produktionsprozesses zu steigern und die damit verbundenen Mehrkosten zu senken. Dazu stehen im Fokus der vorliegenden Diplomarbeit, die unternehmensinterne Abläufe zu kontrollieren und mögliche Einflussfaktoren zu überprüfen sowie Erkenntnisse über das Auftreten der Fehlerbilder zu ermitteln. Werden Umstellungen oder Änderungen des Produktionsprozesses ermittelt, welche zu positiven Ergebnissen führen, sollen diese in die Gesamttechnologie übernommen werden. In den Untersuchungen werde ich mich vorrangig auf die Artikel „Verteiler“ und „Kugelschreiber“ (bestehend aus Ober- und Vorderteil) beziehen.

## **2 Grundlagen der Oberflächenveredelung von Kunststoffen**

Kunststoffe sind makromolekulare organische Verbindungen, die entweder durch Abwandeln von Naturprodukten oder synthetisch durch Polymerisation, -addition oder -kondensation entstehen [5, S.2398]. Je nach Anordnung der Moleküle bestimmen diese die Eigenschaften sowie die Formgebung und werden in die Kunststoffarten Thermoplaste, Duromere und Elastomere unterschieden.

Aufgrund ihrer glatten und verhältnismäßig widerstandsfähigen Oberfläche ist im Grunde keine Lackierung notwendig. Dennoch besteht die Möglichkeit Kunststoffe einzufärben, so dass schon bei der Herstellung auf den speziellen Farbwunsch der Kunden eingegangen werden kann. Dies erspart Zeit und Kosten. Trotz dieser ökonomischen Vorteile hat es sich bewährt, Kunststoffe mit einem Lacküberzug zu versehen. Neben dekorativen Aspekten, sind auch besserer Licht- und UV-Schutz, Wetter- bzw. Wasserfestigkeit, Abriebfestigkeit oder elektrische Leitfähigkeit Gründe, welche für eine Beschichtung sprechen.

### **2.1 Vorbehandlung**

Neben der richtigen Auswahl des Lacksystems obliegt die Qualität der Lackierung ebenfalls der richtigen Vorbereitung. Sowohl beim Herstellungs- als auch beim Verarbeitungsprozess werden Zusatz- und Hilfsstoffe verwendet, um das Eigenschaftsbild der Polymere zu verbessern und um die Verarbeitung zu erleichtern. Zusatzstoffe, wie Additive oder Lösemittel, neigen dazu aus dem Inneren an die Oberfläche zu wandern und auch Formtrennmittel (Paraffine, Seifen, Öle) können am Kunststoff haften. Diese wirken als Trennschicht, führen zu Benetzungsstörungen und müssen beseitigt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Reinigung auf den jeweiligen Kunststoff angepasst wird, um Schäden auf dem Rohteil, z.B. Bläschen, zu vermeiden .

Eine Vorbehandlung von Kunststoffen umschließt:

- Beseitigen von Oberflächenbeschädigungen  
Vertiefungen, Poren, Blasen oder Fließnähten können durch vorsichtiges Schleifen oder Strahlen egalisiert werden.
- Reinigen  
Fette oder Trennmittelreste werden mit tensidhaltige, wässrige Haushalts- oder Industriereinigungsmittel beseitigt. Die reinigende Wirkung einer wässrigen alkalischen Lösung z.B., beruht auf der elektrostatischen Abstoßung des Schmutzes sowie auf Verseifungsreaktionen. Weiterhin besteht die Möglichkeit einer Entfettung mit Ethanol oder Isopropanol.
- Tempern  
Einige Kunststoffe enthalten noch eingefrorene Spannungen, welche zu Rissbildungen führen können. Durch Temperatureinwirkung vor einer weiteren Vorbehandlung, können innere Spannungen abgebaut werden, um Blasenbildung oder die Enthaftung des Lackes in späteren temperaturbedingten Prozessdurchläufen (Glimmen, Bedampfen, Ofentrocknung) im Vorfeld ausschließen zu können. [2, S.485 ff.] [6, S.30 f.]
- Entfernen von Staub und Oberflächenaufladungen  
Als Nichtleiter neigen Kunststoffe dazu sich statisch aufzuladen. Auf Grund dessen bleiben Staubpartikel aus der Luft an ihrer Oberfläche haften. Diesem Effekt kann man durch Erzeugen eines antistatischen Molekülaufbaus bei der Herstellung, durch Abblasen mit ionisierter Luft kurz vor der Beschichtung oder durch Aufbringen einer „Antistatik- Flüssigkeit“ nach einer wässrigen Reinigung entgegenwirken. [3, S.14] [7, S.132]



- Verbesserung der Benetzbarkeit und Lackhaftung

Geringe Oberflächenspannungen oder Verunreinigungen führen zu Benetzungstörungen und somit zu einer schlechten Lackhaftung. Eine Erhöhung der Polarität der zu beschichteten Kunststoffoberflächen kann mit Beflammen, Korona- oder Plasmabehandlung sowie Fluorierung erreicht werden. [2, S.485 ff.] [8, S.270 ff.]

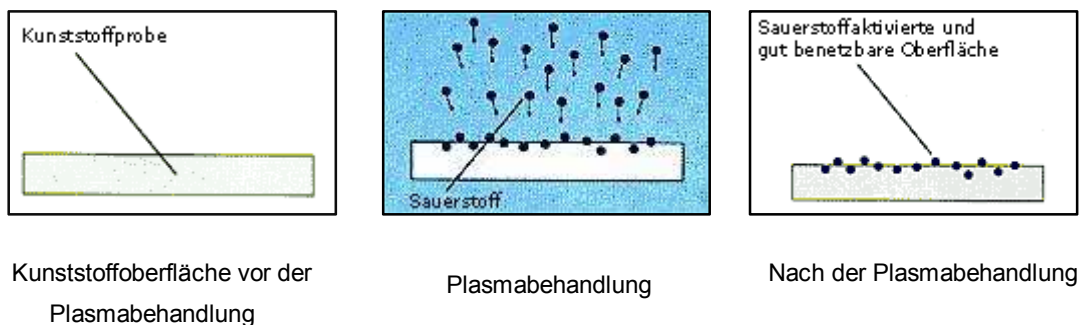


Abbildung 2: Kunststoffaktivierung [9]

## 2.2 Beschichtung

### 2.2.1 Lackieren

Neben der Veredelung und Dekoration ist es durch die Modifizierung mit Lack möglich, Unebenheiten des Kunststoffs abzudecken. Aus funktioneller Sicht ist die wichtigste Aufgabe der Oberflächenschutz; die Oberfläche vor Steinschlag oder chemischen Einflüssen zu schützen. Demnach dienen Lackierungen dem Werterhalt und der Verbesserung von Gebrauchseigenschaften. In vielen Fällen sind Kunststoffe ohne eine Beschichtung und Veredelung nicht denkbar.

Als Lacke werden Beschichtungsstoffe bezeichnet, welche einen auf Untergrund haftenden, zusammenhängenden, schützenden, wasserundurchlässigen sowie dekorativen Film ausbilden. Grundsätzlich bestehen sie aus Bindemitteln, Pigmenten und Füllstoffen, Lösemitteln sowie Additiven. Von allen Lackkomponenten beeinflussen Bindemittel das Eigenschaftsspektrum eines Beschichtungstoffes am stärksten und sind darüber hinaus der

wichtigste Bestandteil eines jeden Beschichtungsstoffes. Die im Bindemittel enthaltenen Filmbildner sind die Bestandteile einer Beschichtung, die den Zusammenhalt des Beschichtungssystems (Kohäsion) und die Haftung zum Untergrund (Adhäsion) bewirken. Dabei ist für eine gute Haftung die Benetzung des flüssigen Beschichtungsstoffes mit dem Untergrund Grundvoraussetzung. Dazu müssen die Oberflächenspannung des Lacksystems und die der Kunststoffoberfläche aufeinander abgestimmt sein. Das heißt, die Oberflächenspannung des Kunststoffes muss größer sein, als die des Lacksystems. Dadurch wird die Kontaktfläche an der Phasengrenze Polymer / Beschichtung vergrößert, ein enger Kontakt wird hergestellt und es können Wechselwirkungen an der Grenzfläche auftreten.

Ebenso Einfluss auf die Haftung besitzt die Rauheit der Substratoberfläche. Je unebener der Untergrund, desto besser kann der Lack in Poren eindringen. Der Beschichtungsstoff kann sich mechanisch verankern und die Haftung wird damit erheblich verbessert. Damit alle Unebenheiten verschlossen, der Untergrund ausgeglichen und eine vollständige Benetzung erfolgen kann, ist ein niedrigviskoser Lack Voraussetzung.

Bei der Verfestigung des Films findet ein Übergang zwischen dem ursprünglich dünnflüssigen Lack in einen elastischen Festkörper statt, wodurch sich seine rheologischen Eigenschaften ändern. Dabei kann die Art und Weise der Verfestigung des Filmes verschieden sein, physikalisch oder chemisch. Bei der physikalischen Trocknung verfestigt sich der Film ausschließlich durch Lösemittelabgabe. Hingegen bei der chemischen Härtung, vernetzen sich Moleküle. Durch die daraus entstandene Molekülvergrößerung wird die Lackierung in einen unlöslichen und hochbeständigen Film überführt (z.B. Einbrennlacke, 2 K- Lacke). [6, S.30 f.] [10]

Entsprechend den Anforderungen und der Optik des Substrates, Qualitätsansprüche sowie Kostenvorgaben kommen unterschiedliche Lackaufbauten zum Einsatz. Einschichtsysteme werden häufig für Anwendungen im Innenbereich verwendet, z.B. TV- Gehäuse; bei Anwendungen im Außenbereich kommen zwei bis vier Lackschichten (Mehrschichtsystem) zum Einsatz.

Lackschicht	Aufgabe
Grundierung	<ul style="list-style-type: none"><li>• Haftvermittler für schwer benetzbare Kunststoffe</li><li>• Isolierung / Sperrung gegen das Austreten von Weichmachern und dem Austreten von Spaltprodukten (Diffusionsbarriere)</li><li>• bildet die Grundlage für den Glanz der Beschichtung</li></ul>
Füller	<ul style="list-style-type: none"><li>• Egalisierung von Oberfläche</li></ul>
Basislack	<ul style="list-style-type: none"><li>• Farb- und Effektgebung</li></ul>
Decklack	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schutzschicht für den gesamten Aufbau gegen chemische, mechanische und umweltbedingte Belastungen (Härte, Abrieb, UV- Beständigkeit)</li></ul>

**Tabelle 1: Aufgaben einzelner Lackschichten**

Die Zusammensetzung eines Kunststofflacksystems orientiert sich an den technischen Anforderungen der Beschichtung und am Kunststoff selbst. Dabei ist es wichtig die Eigenschaften der Polymere zu kennen:

- Lösemittelbeständigkeit des Substrates, um ein Quellen oder innere Spannungen zu vermeiden
- Benetzbarkeit der Substratoberfläche
- Austretbare Inhaltsstoffe
- Elastizität des Kunststoffteils
- Wärmeformbeständigkeit, hinsichtlich der Trocknung der Beschichtung [8, S. 190 ff.]

Eine Einteilung der Lacke kann in verschiedene Klassifizierungen, wie Lösemittelgehalt, Filmbildner, Verfestigung des Filmes, Funktion oder Beschichtungsaufbau vorgenommen werden.

[11, Kapitel 1-4]

### 2.2.2 Metallisieren

Durch Metallisierungen lassen sich die Einsatzgebiete von Polymeren erweitern: Abschirmung magnetischer Felder, thermischer Schutz gegen Wärmeeinwirkung oder für optisch brillante und reflektierende Oberflächen.

Bei der Herstellung metallischer Schichten aus der Gas- oder Dampfphase kann zwischen zwei Verfahren unterschieden werden. Dem physikalischen Verfahren (engl.: Physical Vapour Deposition, PVD) und dem chemischen Verfahren (engl.: Chemical Vapour Deposition, CVD). Während beim CVD Prozess die Schicht durch eine chemische Reaktion an der Oberfläche mit dem zu beschichtenden Bauteil entsteht, erfolgt die Beschichtung beim PVD Prozess rein physikalisch. Weiterhin bestehen Unterschiede hinsichtlich der Zuführung der Beschichtungskomponenten und der Druckverhältnisse.

Eine Variante der physikalischen Beschichtung, ist das Aufdampfen. Dabei wird das abzuscheidende Material (z.B. Al, Au, Cu, NiCr) durch Zufuhr thermischer Energie in die Gasphase überführt. Die dadurch freigesetzten Atome oder Moleküle verlassen die Oberfläche des Verdampfungsgutes, wandern durch die Vakuumkammer, kondensieren auf dem Substrat und bilden eine dünne Schicht aus.

Für den Aufdampfvorgang müssen die Verdampferquellen einen höheren Schmelzpunkt als das zu verdampfende Material besitzen. Oft werden diesbezüglich Verdampfer aus Wolfram, Molybdän oder Tantal, in Form von Wendeln, Schiffchen oder Tiegeln verwendet.

Um Zusammenstöße von schichtbildenden Dampfteilchen mit Restgasatomen zu verhindern, ist für diesen Prozess ein Vakuumgefäß (Rezipient) notwendig. Mit sinkendem Druck nimmt die Anzahl der Zusammenstöße ab, die mittlere freie Weglänge zu und die Teilchen können sich geradlinig ausbreiten.

Als mittlere freie Weglänge  $\lambda$  wird die Strecke definiert, die ein Teilchen durchschnittlich zurücklegt, ohne dabei mit einem Gasmolekül zusammenzustoßen. [12] [13, S.104] [14, S.8]

Gegenüber dem chemischen, weisen physikalische Beschichtungsverfahren ein breites Maß an Vorteilen auf. Die PVD- Beschichtung ist ein sehr

umweltfreundliches Verfahren, da die zu beschichtenden Teile keinen giftigen Gasen oder korrosiven Nebenprodukten (HCL) ausgesetzt werden. Darüber hinaus entsteht durch den verwendeten tiefen Druck eine hohe Schichtreinheit und es sind geringere Verdampfungstemperaturen und Temperaturbelastungen realisierbar. Des Weiteren ist ein großes Portfolio an Substratmaterialien vorhanden, wie Kunststoffe, Glas, Keramik oder Metalle. Vergleichsweise nachteilig wirken sich die Notwendigkeit einer Vakuumanlage und die daraus abzuleitenden Anschaffungskosten aus. Darüber hinaus sind physikalische Beschichtungen in ihren Beschichtungsraten begrenzt, sie erreichen Schichtdicken von 1-15µm. Ebenso schwierig erweist sich die Beschichtung nichtplaner Werkstücke durch inhomogenen Schichtdicken. [15, S.200 ff.]

Durch die Kombination verschiedener Beschichtungssysteme ist es möglich, die gewünschte Optik der Oberfläche (Metalleffekt, Gravuren) und eine Verbesserung der Schichteigenschaften (z.B. Leitfähigkeit von Metallen, Abriebfestigkeit) zu vereinen. Weiterhin ist es dadurch möglich chemische Aufrauhungen bzw. Vorbehandlungen zu vermeiden. Dazu werden Metallschichten zuerst aufgedampft und anschließend mit demselben oder einem anderen Metall chemisch oder galvanisch aufgebracht. In vielen Fällen ist der Einsatz einer PVD-Lack-Kombination eine umweltfreundliche und kostengünstigere Alternative. Mithilfe solcher kombinierter Verfahren können chemische Metallabscheidungen umgangen werden.

Mögliche Kombinationsverfahren sind:

- PVD verbunden mit einer Lackierung
- PVD- Beschichtung kombiniert mit Galvanik
- PVD einschließlich Laserbearbeitung
- Galvanischer Überzug verbunden mit Laser
- Galvanik und Lack
- PVD- Beschichtung gefolgt von einer Plasmabehandlung mit anschließender Galvanik [16] [17, S.19]

## 2.3 Probleme bei der Oberflächenbeschichtung

Die Qualität und Güte von Beschichtungen sind von mehreren Faktoren abhängig. Angefangen von der Herstellung und dem Vertrieb, gefolgt von den Lackeigenschaften bis zu den Vorbehandlungsmaßnahmen sowie Applikations- und Härtebedingungen. Unzureichende oder falsche Reinigungen, Verwendung inkompatibler Grundierungen oder ungeeigneter Härter bzw. Lösemittel sind typische Ursachen Fehlstellen an der Lackoberfläche herbeiführen. Des Weiteren können inhomogene Bestandteile im flüssigen Lack (Agglomerate, Mizellen) zu Verdickungen oder Anhäufungen führen. Substratfehler, Verschmutzungen, unsachgemäße oder ungeeignete Verarbeitungen sind gleichermaßen Einflussfaktoren für Fehlerquellen im Beschichtungsprozess.

Nur die richtige Beurteilung einer Fehlstelle schafft die Voraussetzung für die Beseitigung der Ursachen und ermöglicht eine rationelle Schadensbehebung am lackierten Objekt. Zusätzlich stellen Umwelteinflüsse einen wichtigen Einflussfaktor für Lackschäden dar, diese müssen ebenso zunächst erkannt werden um sie beheben zu können. Dabei ist die Fehlerquote nicht nur von den korrekten Einstellungen der oben genannten Parameter abhängig. Abbildung 3 verdeutlicht, welche Faktoren Einfluss auf die Qualität einer Lackierung besitzen.

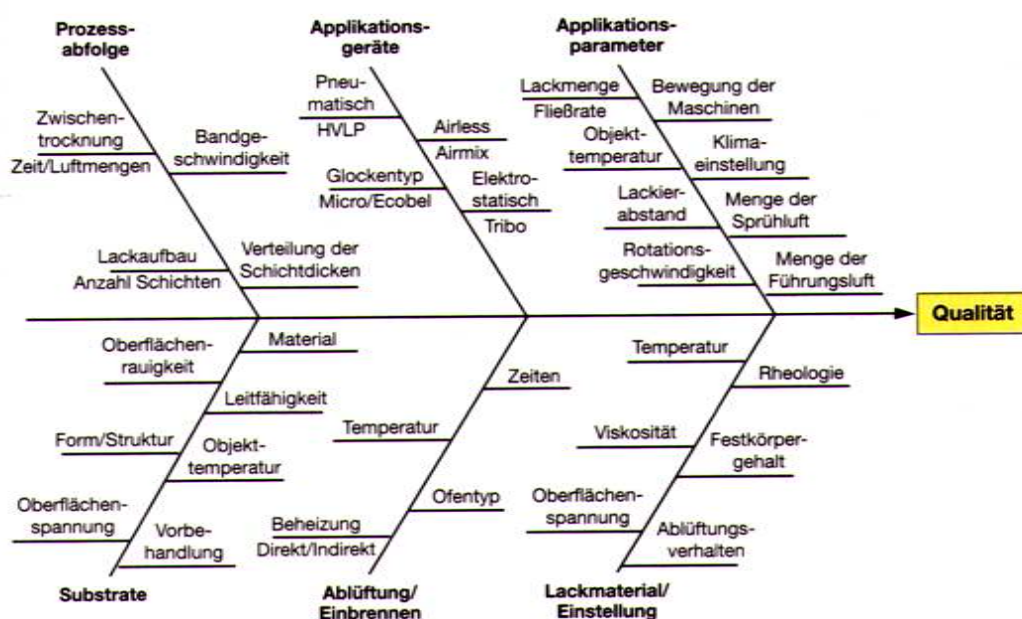


Abbildung 3: Technische Einflüsse auf das Lackergebnis [2, S.19]

Fehler lassen sich in drei Gruppen einteilen.

- sichtbaren, lokalen bzw. punktuellen Oberflächenstörungen: Läufer, Krater, Kocher, Nadelstiche.
- sichtbaren, großflächigen Oberflächenstörung: Orangerhaut, Wolkigkeit bei Metall- Effekt- Lacken, Glanzschleier.
- Beeinträchtigung Gebrauchseigenschaften: Enthftung vom Substrat, Korrosion, Blasenbildung). [2 ,S.688 ff.]

Um Ursachen und Fehlerquellen einer schadhafte Lackierung zuzuordnen, ist es notwendig die Fehlerart zu identifizieren um sich anschließend mit deren Vermeidung auseinanderzusetzen. Nachfolgend werden Definitionen, Erkennungsmerkmale und mögliche Faktoren der Verursachung genannt

**Läufer** sind anhand wellenförmiger Lacklaufspuren zu identifizieren, die sich im Decklack oder in einer Zwischenschicht bilden können. Meist treten sie an senkrechten Flächen auf. [18]

Der Grund für die Entstehung ist oft zu niedrigviskoser Lack. Falsch verwendete bzw. zu viel Verdünnung oder Härter, verschmutzte Oberflächen durch Öle oder Fette, zu hohe Schichtdicken bzw. zu geringer Pistolenabstand zum Objekt oder auch zu kalte Umgebungstemperaturen. [21] [24]



Abbildung 4: Läufer in der Draufsicht [19]



Abbildung 5: Läufer in isometrischer Darstellung [20]

Als **Krater** bezeichnet man kreisförmige Vertiefungen in der Lackierung. Sie können Durchmesser von 0,5 bis 3 mm erreichen und sind kleine Öffnungen in der Deck- oder Zwischenschicht, teilweise erstrecken sie sich bis zum Untergrund. Ein typisches Merkmal ist der hochgezogene Rand. [18] [21] [22] Oftmals sind Krater das Ergebnis einer mangelhaften Vorbereitung des Untergrundes. Einerseits bilden sie sich durch eine unzureichende Entfernung von Fetten und Trennmittel heraus, andererseits kann verunreinigte Spritzluft durch Ölrückstände oder Kondenswasser die Ursache sein. An dieser Stelle sollte man sich über den Kunststoffhersteller informieren, mit welchen Trennmitteln gearbeitet bzw. mit welchen Fetten der Kunststoff in Berührung kam. Mit dem Tragen von Gummihandschuhen, kann gegenüber Handschweiß und –fette vorgebeugt werden. [21] [24]



Abbildung 6: Krater in der Draufsicht [2, S.690]



Abbildung 7: Krater in isometrischer Darstellung [20]

**Kocher**, entstehen durch gasförmig entweichende Lösemiteleinschlüsse. Es sind geschlossene oder offene, bereits geplatzte Gasblasen und ähneln den Kratern. Der Unterschied ist, dass bei den Kochern keine Verbindung zum Untergrund besteht. [2, S.184] [23] [22].

Im Wesentlichen entstehen Kocher bei unsachgemäßen Trocknungsprozessen. Zu kurze Ablüftzeiten oder zu hohe Temperatureinstellung sind Ursachen für deren Ausbildung. Des Weiteren können durch den Einsatz falscher Verdünnung oder zu hohen Schichtstärken Auslöser sein. Somit sind mögliche Fehlerquellen für den Kunststoff unangepasster Härter oder Lösemittel, ein zu satter Schichtauftrag oder ungenügendes einhalten der Ablüftzeit. [21] [24]





Abbildung 8: Kocher in mikroskopischer Ansicht  
[2, S.690]

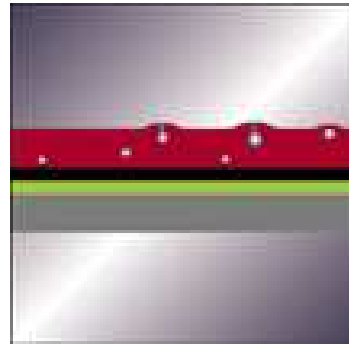


Abbildung 9: Kocher in Schnittdarstellung [23]

**Nadelstiche** sind feinste Mikroporen, deren Oberfläche beim Trocknen aufgebrochen ist. Diese kleinen Löcher oder Ansammlungen entstehen in der Regel durch Lösemittel-, Luft- und Feuchtigkeitseinschlüsse; vergleichbar mit Kratern sowie den Kochern. [18] [21] [23]

Deren Ursachenbekämpfungen und Vorbeugung sind analog zu denen derer. [21] [24]



Abbildung 10: Nadelstiche [19]

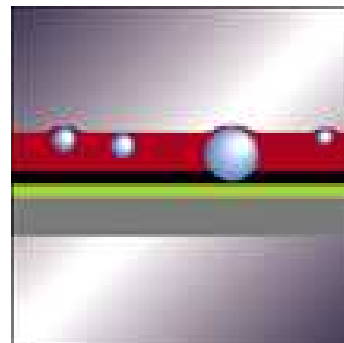


Abbildung 11: Nadelstiche in Schnittdarstellung [23]

**Staubeinschlüsse** definiert man als bohnenförmige oder eingeschlossene körnige Verunreinigungen die teilweise aus der Oberfläche herausragen. [18] Für Staubeinschlüsse gibt es eine Vielzahl von möglichen Ursachen. Der Kunststoff ist vor dem Lackieren nicht sorgfältig mit ionisierter Luft abgeblasen worden, sodass durch die statische Aufladung weiterhin Staub angezogen wird, verschmutzte oder undichte Kabinenfilter, wodurch Staubpartikel von außen in die Kabinenbereich gelangen kann oder der Lack wurde nicht ordnungsgemäß

gefiltert. Mit Behandlungen gegenüber der elektrostatischen Aufladung, Verwendung geeigneter Lackierzüge (Antistatik-Overall) sowie regelmäßiges auswechseln der Filter, geschlossen Spritzkabinentüren oder einen befeuchteten Boden gegen Staubverwirbelungen, können Staubeinflüsse vermindert werden. [21] [24]



Abbildung 12: Staubeinschlüsse [19]

Als **Orangenhaut** wird eine Fläche bezeichnet, die eine unruhige, wellige oder raue Erscheinung an Lackoberfläche aufweist und deren Unebenheiten auf Verlaufsstörungen des Lackes zurückzuführen sind. [18]

Diese tritt auf, wenn die Viskosität des Lackmaterials falsch eingestellt wurde. Ungünstige Umgebungstemperaturen oder der Einsatz nicht geeigneter Verdünner und Härter führen gleichermaßen zu diesen Erscheinungen. [21] [24]

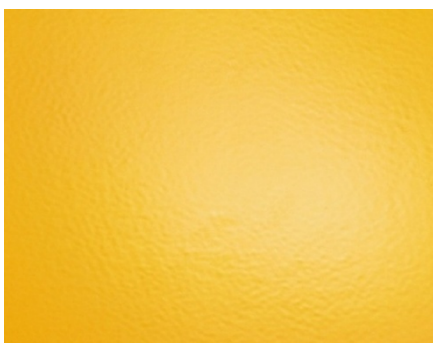


Abbildung 13: Orangenhaut [19]

### **3 Produktionsprozess der Firma Creavac**

#### **3.1 Ablauf der Lohnbeschichtung**

##### **3.1.1 Wareneingang/ Versand**

Die Kontrolle des Eingangsmaterials erfolgt im Wareneingang.

Gelieferte Rohteile von Kunden werden mit dem Lieferschein verglichen, auf ihren Inhalt sowie auf ihre Vollständigkeit überprüft. Kaufteile werden zusätzlich von der Qualitätssicherung stichprobenmäßig auf Kratzer, Krater oder Verformungen untersucht.

Ist die Ware in Ordnung, wird sie im Intranet der Creavac eingetragen und erhält einen Warenbegleitschein. Dieser dokumentiert den gesamten Produktionsablauf des Artikels, wodurch es jederzeit möglich ist, auf jede Charge zurückzugreifen.

Im Wareneingang erhalten die Lackgebinde eine farbige Markierung. Anhand dieser wird der Lackierer darüber in Kenntnis gesetzt wann das Haltbarkeitsdatum abgelaufen ist. [4]

##### **3.1.2 Bestückung**

Nach dem Wareneingang folgt der Prozess der Bestückung. Hier werden die Kunststoffteile auf individuelle Spindelhalterungen bestückt und je nach Vorschrift maskiert und befestigt. Verteiler erhalten diesbezüglich eine Maskierung für den unteren Bereich und für die Auslauföffnungen. Vorderteile werden auf Halterungen geschoben und mittels einem Magneten befestigt; Oberteile befestigt man, indem sie aufgeschraubt werden.

Wie schon im Kapitel 2.1 erwähnt, müssen die Kunststoffteile frei von jeglichen Unreinheiten (Staub, Handschweiß) sein, da sonst Haftung und Aussehen der Lackschicht beeinträchtigt werden. Praktisch wird dies bei Creavac durch das Tragen von Arbeitshandschuhen gelöst. Aufgrund der statischen Anziehung ist es wichtig, dass an dieser Stelle Gummihandschuhe zur Anwendung kommen.

Währenddessen die Spindelhalterungen mit den Artikeln bestückt werden, erfolgt gleichzeitig eine weitere Sichtkontrolle auf Beschädigungen der Rohteile. Ein abschließendes Abblasen mit ionisierter Luft verhindert die elektrostatische Aufladung, ohne die Lackhaftung zu stören. Dieser mit Wechselstrom arbeitende Ionisator gleicht zuerst elektrische Ladungen aus und bläst danach den anhaftenden Staub mit einem Luftstrom von der Oberfläche ab.

Neben dem Abblasen mit ionisierter Luft, können Rohteile nach dem Wareneingang mit Hilfe zusätzlicher Methoden gereinigt werden; alkalisch mit Industriegeschirrspüler (Teile werden durch Waschung entfettet) oder manuell mit Ethanol. [4]

### **3.1.3 Lackieren**

#### **Vorbehandlung: Glimmen**

Polymere mit einer niedrigen Oberflächenspannung weisen unzureichende Benetzbarkeit und schlechte Haftung auf. Eine Plasmaaktivierung erhöht, durch die chemische Umwandlung und Feinreinigung der Werkstoffoberfläche, die Oberflächenenergie und verbessert somit die Benetzung sowie die Haftung für Beschichtungen [25, S.134] [26, S.384].

Die Kunststoffe ABS, PC, PA, welche oft bei Creavac beschichtet werden, bedürfen solch einer Reinigung. Vor dem Grundlackieren unterzieht man diese einer Oberflächenmodifizierung mit Plasma [27]. Dabei werden zu behandelte Artikel mittels eines Drehkorbs in die Vakuumkammer befördert und diese wird anschließend evakuiert. Nach Erreichen des notwendigen (Vor-)Vakuums, wird die Rotation des Drehkorbs freigegeben und Gas eingelassen. Während der Prozesszeit sind die Kunststoffe dem Plasma des Reaktionsgases (Sauerstoff, Argon) ausgesetzt, dabei wird die Oberflächenenergie erhöht und die Oberfläche aktiviert [19, S.182].

Um die gewünschten Effekte an der Oberfläche zu erzielen, müssen die Parameter Prozessgas, Prozessdruck, Zeit und Anregungsfrequenz an das vorzubehandelnde Bauteil angepasst sein.

Derzeit arbeitet die Produktion mit folgenden Einstellungen der Prozessparameter:

- Prozessgas: Argon
- Anregungsform: Wechselstrom, mit  $I = 300\text{--}400\text{mA}$ ;  $U = 3\text{--}4\text{ kV}$
- Druck:  $1,2 \times 10^{-1} - 9,0 \times 10^{-2}\text{ mbar}$
- Prozesszeit: je nach Bauteilgeometrie 5- 10 min

### **Beschichtungsauftrag**

Damit die zu lackierenden Kunststoffe definitiv frei von Fremdstoffen sind, reinigen die Lackierer sie ein weiteres Mal. Dazu werden die Teile zuerst mit Kompressorluft gegenüber anhaftendem Schmutz entstaubt und anschließend wiederholt mit ionisierter Luft abgeblasen.

In den Lackieranlagen tragen die Lackierer fusselfreie, synthetische Anzüge.

Für den Beschichtungsauftrag ist die Produktionsabteilung mit zwei Spritzkabinen ausgestattet. Die Spritzkabine 1 ist vorrangig für dekorative Artikel und die Spritzkabine 2 ausschließlich für Kunststoffbeschichtungen zuständig.

Zum Lackieren der Kunststoffteile werden Spindellackierautomaten eingesetzt. Dabei erfolgt der Lackauftrag über Spritzpistolen. Der Spritzvorgang verläuft weitestgehend automatisch - der Pistolenhalter fährt mit Linearvorschub an den bestückten Rotoren vorbei und kann aus bis zu 4 Spritzpistolen gleichzeitig lacken. Anzahl der Sprühköpfe sowie die Anzahl der Lackiergänge sind SPS gesteuert.

Für die Lackzufuhr zur Düse sind in Lackkabine 1 zwei verschiedene Konstruktionen vorhanden:

- obensitzender Fließbecher
- separate Mischanlagen zur kontinuierlichen Zufuhr größerer Materialmengen (Lackförderung durch Druckluft)

Für die Verarbeitung von lösemittel- bzw. wasserhaltigen Lacken, sind unterschiedliche Mischanlagen vorgesehen.

Nach der Regulierung der Mitteldruckmaschine auf 40 bar, beträgt der Betriebsdruck je nach Spritzgut zwischen 2 und 4 bar. Für den Beschichtungsauftrag wird dieser in der Regel auf ca. 3,5 bar reguliert. Die verwendeten Materialdüsen der Lackkabine 1 besitzen Durchmesser von 0,8 bis 1,0 mm. Die Düsen mit kleinerem Durchmesser verwendet man bei dünnflüssigem (niedrigviskosem) Spritzgut, etwa dem Grund- und Decklack der dekorativen Teile.

Die Menge des Materialflusses kann durch Verstellen der Düsennadel eingestellt werden. Beim Austreten des Spritzgutes aus der Materialdüse entsteht ein Sog. Er saugt Lack aus dem Gebinde in die Materialdüse. Durch Veränderung des Spritzluftdruckes kann der Zerstäubungsgrad stark verändert werden. Je nach Einstellung der Luftdüsen entsteht ein Flach-, Breit- oder Rundstrahl. Durch die pneumatische Zerstäubung lassen sich Feinsteinstellungen realisieren, wodurch sich hohe Oberflächenqualitäten erzielen lassen - ein großer Vorteil. Nachteilig hingegen wirkt sich die starke Lacknebelbildung aus. Es muss deshalb immer eine Absauganlage vorhanden sein. [2, S.531] [8, S. 295] [4]



**Abbildung 14: Spindellackierautomat**

## **Lack**

Produkte, die bei Creavac mit einer Metallisierungsschicht versehen werden, werden mit einem PUR- Lack grund- und decklackiert. PUR- Lacke sind Reaktionslacke, die aus 2 Komponenten, Stammlack (Desmophen) und Härter bzw. Zusatzlack (Desmodur), bestehen. Vor der Verarbeitung werden sie in einem bestimmten Verhältnis miteinander vermischt.

PUR bestehen aus sehr reaktionsfähigen Bausteinen, sodass es schon beim Vermischen der Desmophen und Desmodur bei Raumtemperatur zu Vernetzungsreaktionen kommt. Die Isocyanatgruppen sind verantwortlich für die Geschwindigkeit der Härtung und die Begrenzung der Verarbeitungsdauer. Mit etwa 75% bei klaren PUR- Lacken ist der sehr hohe Lösemittelanteil ein weiteres Manko. Härtezusätze sind zudem feuchtigkeitsempfindlich und reagieren mit Wasser unter Eindicken und Gasbildung. Je länger die Lackelemente mit dem Wasser in Berührung sind, umso größer wird der Anteil unerwünschter Nebenreaktionen.

Der Grundlack für Verteiler, Kugelschreiber und andere PVD- Hochglanzbeschichtete Artikel wird von der Firma Rohm & Haas bezogen. Der "Durodur Grundlack 2070e" soll neben den haftvermittelnden Eigenschaften, Unebenheiten des Kunststoffes ausgleichen und somit zum hohen Glanz der Metallisierung beitragen. Da die aufgedampfte Schicht die Strukturierung der Oberfläche präzise abbildet ist es wichtig, dass die Grundlackierung glatt und fehlerfrei ist. Der Zweikomponenten- Grundlack auf PUR-Basis wird vor dem Spritzauftrag in einem Verhältnis von 10 Teilen Lack zu 4 Teilen Härter, ohne Lösemittelzugabe, miteinander vermischt.

Als Decklack für den PVD- Untergrund, bezieht Creavac „BERLACRYL 2K PVD Klarlack“ des Herstellers Berlac. Dieser schützt die metallisierten Oberflächen und besitzt Eigenschaften wie Abriebsfestigkeit, Hochglanz und eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Haushaltschemikalien. Das Mischungsverhältnis von Stammlack zu Härter, beträgt bei diesem 5:1. Zusätzlich werden ca. 75 % des Verdünnungsmittels „005.009.000“ hinzugegeben. [4] [28] [29] [30]

## **Filter**

Hinsichtlich der anfallenden Emissionen, dem Gesundheitsschutz und zur Vermeidung einfallender Staub- oder Fremdpartikel, verwendet Creavac Filtermedien der Firma Raasch.

Die Filtermatten FILTRAIR "ALL-ROUNDERS" VNF-290/300 dienen als Grobstaubfilter. Vorfilter dieser Art befinden sich außerhalb der Spritzkabine, sind für das Filtern der Ansaugluft verantwortlich und halten Partikel der Größe  $>10\mu\text{m}$  (Filterklasse G3-G4) fern. Als Unterstützung der Grobfiltration wird der Vliesstoff FILTRAIR FF 560G eingesetzt. Diese Feinfiltrationen kommen in der Spritzkabine als Deckenfilter zur Anwendung (Feinstaubfilter für Partikel 1- $10\mu\text{m}$ ).

Ein Filter zur Verhinderung von Luftverwirbelungen ist ebenfalls vorhanden und besitzt wie der Deckenfilter Filterklasse 5.

Der bei der Spritzlackierung entstehende Lacknebel wird in der Lackkabine 1 mittels eines Trockenabscheidesystems über einen Papplabyrinthfilter gereinigt. Direkt dahinter befindet sich ein zweiter Abluftfilter, Farbnebelabscheider FA 200G.

Die Abluftreinigung in Kabine 2 erfolgt durch Nassabscheidung.

Um Verschmutzungen aus der Druckluft fernzuhalten, wird diese ebenfalls gefiltert. Die vom Kompressor angesaugte Luft aus der Atmosphäre strömt in einen Kondenstrockner, welcher der Luft die darin gebundene Feuchtigkeit entzieht, indem sie auf  $4^{\circ}\text{C}$  abgekühlt wird. Über den Druckbehälter gelangt im Anschluss die Druckluft in den Ölfilter, wo sie von Ölrückständen gereinigt wird.

Um Verunreinigungen des Beschichtungsmaterials zurückzuhalten, welche über die Spritzpistole auf die Kunststoffoberfläche gelangen können, wird dieses zunächst mit Hilfe eines Filterelementes am Ansaugschlauch filtriert und anschließend durch einen Hochdruckfilter der Filterklasse 3 gefördert. [4] [31]

## **Trocknung**

Die Qualität des Lackfilmes ist auch von der ausreichend langen und ausreichend hohen Energieeinwirkung abhängig. Minimal und maximal



festgelegte Einbrennbedingungen müssen dabei unbedingt eingehalten werden, ansonsten kann es zur Unter- bzw. Überbrennung des Lackes führen. Eine Unterbrennung des Lackes kann das Sinken der mechanischen Härte, der Wetter- und der chemischen Beständigkeit zur Folge haben. Überbrennungen des Filmes führen zu Vergilbungen oder Versprödungen. Trocknet eine Lackierung zu schnell, können Lösemittel nicht vollständig entweichen und werden im Film eingeschlossen. Folgen sind Blasen (Kocher) und Runzelbildungen.

Luftgeschwindigkeit und Temperatur im Ofen richten sich nach dem Lack. Dabei sollten Trockenöfen, welche nach dem Umluftprinzip heizen, Luftgeschwindigkeiten von 0,5 m/s bis 2 m/s nicht überschreiten. Ist die Luftgeschwindigkeit im Ofen zu hoch, besteht auch hier die Gefahr der Bläschenbildung.

Entsprechend der technologischen Angaben ist nach der Lackierung eine Abluftzeit von mindestens 10 min einzuhalten und eine anschließende Wärmetrocknung im Trockenofen durchzuführen

Für diese ist Lackkabine 1 mit zwei Trockenöfen ausgestattet, welche nach dem Umluftprinzip heizen. Die Trockentemperaturen des Grundlackes betragen:

- Kugelschreiber: ca. 60- 70 °C
- Verteiler: ca. 70- 80 °C

bei 90- 120min. Um den Grundlack nicht wieder anzulösen, wird der Decklack bei geringerer Temperatur, etwa 40 °C, getrocknet. [4] [8, S.319 f.] [30]

### **3.1.4 Metallisieren/ Bedampfen**

Nachdem die Artikel grundlackiert wurden, erhalten sie vor dem Aufdampfprozess eine weitere Glimmbehandlung im Vorvakuum, um die Haftfestigkeit der Metallisierung zu verbessern. Der anschließende Aufdampfprozess der Metallschicht (Al, NiCr) findet nach Erreichen des Hochvakuums ( $10^{-4}$  mbar) in derselben Anlage statt.

Während der Bedampfung bewegen sich die Artikel planetenartig über den Verdampferquellen, um eine gleichmäßige Verteilung der Schicht zu erzielen.

Die Vakuumkammer der Produktionsabteilung besitzt eine Länge von 1,50 m und eine Breite von 1,00 m. Zum Verdampfen kann in der Anlage aus zwei Widerstandsverdampfer mit jeweils 33 Wendeln verdampft werden, 22 Wendeln dienen zu dekorativen Bedampfungen. Für die Metallisierungsschicht der Verteiler werden pro Verdampfer  $10 \times 0,45\text{g}$  Al verdampft, die Metallisierungsschicht der Kugelschreiber besteht aus  $12 \times 1,0\text{g}$  NiCr pro Verdampfer.

Zum Schutz wird die aufgedampfte Metallisierung mit Hilfe des Decklackes konserviert. [4]



Abbildung 15: Vakuumanlage mit Verdampferquellen

### 3.1.5 Entstückung

Ist der jeweilige Beschichtungsprozess beendet, werden die Bauteile demaskiert und anschließend von den Halterungen entnommen. Gleichzeitig erfolgte eine erste Sichtprüfung. Sind in der Charge fehlerhafte Teile vorhanden, werden diese bereits hier aussortiert. Handelt es sich nicht um metallisierte, sondern um schleifbare Teile, können sie als Nacharbeit ausgebessert und wiederholt lackiert werden. [4]

### 3.1.6 Qualitätssicherung/ Qualitätsmanagement

Aufgabe des QS/QM ist es, die Beständigkeit und die Qualitätsanforderungen der Bauteile zu kontrollieren und verschiedene Prüfungen mit ihnen durchzuführen.

Typische Qualitätsbeurteilungen im Hause Creavac sind:

- Gitterschnittprüfung nach DIN EN ISO 2409
- Farbmessung nach DIN 5033
- Schweißwassertest, bei 28°C und 100% Luftfeuchte n ach DIN EN ISO 6270
- Klimawechseltest nach DIN EN 60068

Dabei ist die Art der Tests, die der Artikel durchlaufen soll, abhängig vom Kunden.

Die Haftfestigkeit von Oberflächen kann über verschiedene Techniken festgestellt werden. Für Verteiler, Vorder- sowie Oberteile, prüft Creavac die Lackhaftung mit der Methode des Gitterschnittes. Mit dieser Prüfung können Rückschlüsse auf die Sprödigkeit der Beschichtung(en) gezogen werden. Dazu werden mit einem Cuttermesser mehrfach gekreuzte und parallele Schnitte auf die zu untersuchende lackierte Oberfläche geritzt. Anschließend wird das entstandene Gitter mit einem Klebeband nach DIN ISO 2409 oder nach Kundenspezifikation (z.B. Automobilbranche) abgeklebt, angedrückt und ruckartig wieder abgezogen. Bleiben nach dem Abreißen keine Rückstände am Klebeband haften, ist die Lackhaftung in Ordnung. Sind Haftungsverluste der Prüffläche vorzufinden, so ist die Lackhaftung mangelhaft. Die Anzahl der abgeplatzten Quadrate und das Erscheinungsbild der Oberfläche wird nachfolgend mit den Kennwerten des Gitterschnittes 0-5 verglichen und den verschiedenen Stufen zugeordnet (siehe Anlage 2, S. 91). Je nach Angabe des Grenzwertes der Kunden wird über Ausschuss oder i.O. entschieden. [4] [32]

### **3.1.7 Endkontrolle**

Hochwertig, metallisierte Artikel wie es Verteiler und Kugelschreiber sind, werden einer genauen Sichtprüfung in der Endkontrolle unterzogen. Dort prüft man unter anderen Verteiler, Kugelschreiber und Automobilinterieur auf Lackier- oder Bedampfungsfehler. Teile, welche dem Ausschuss zugeordnet werden müssen, entsorgt man über den Müll. Fehlerfreie Artikel gelangen in die Versandabteilung.

Nach den Daten des betriebsinternen Intranets, verhielt sich der Ausschuss im Jahr 2009 bei den Verteilern durchschnittlich 50 %, Vorderteile annähernd 45 % und Oberteile ca. 48 % (Vergleiche Diagramm 1- 3).

Diagramm 1: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Verteiler 2009

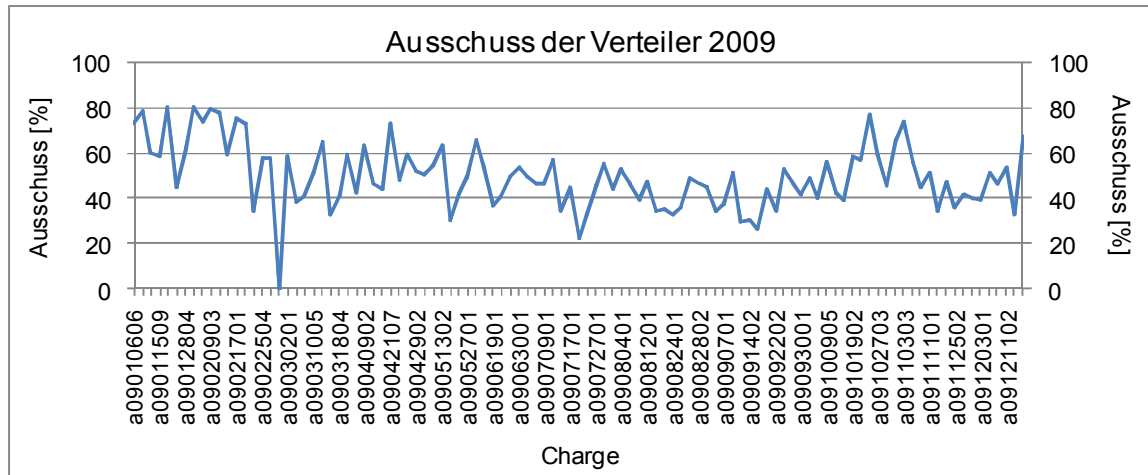


Diagramm 2: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Vorderteile 2009

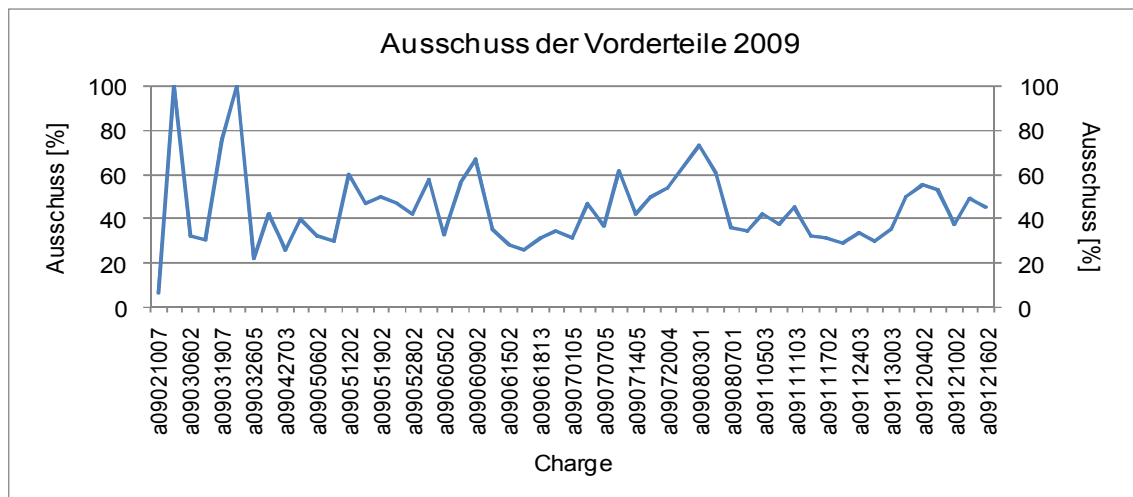
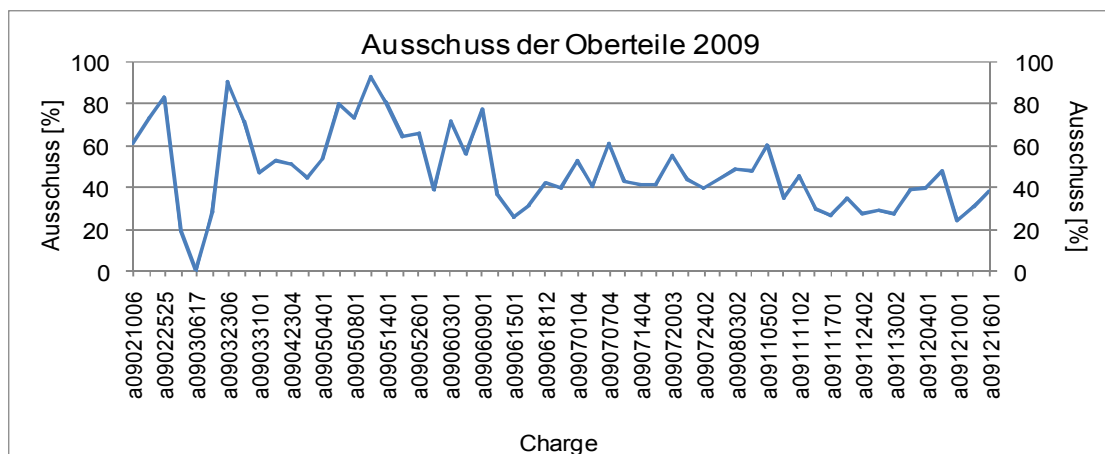


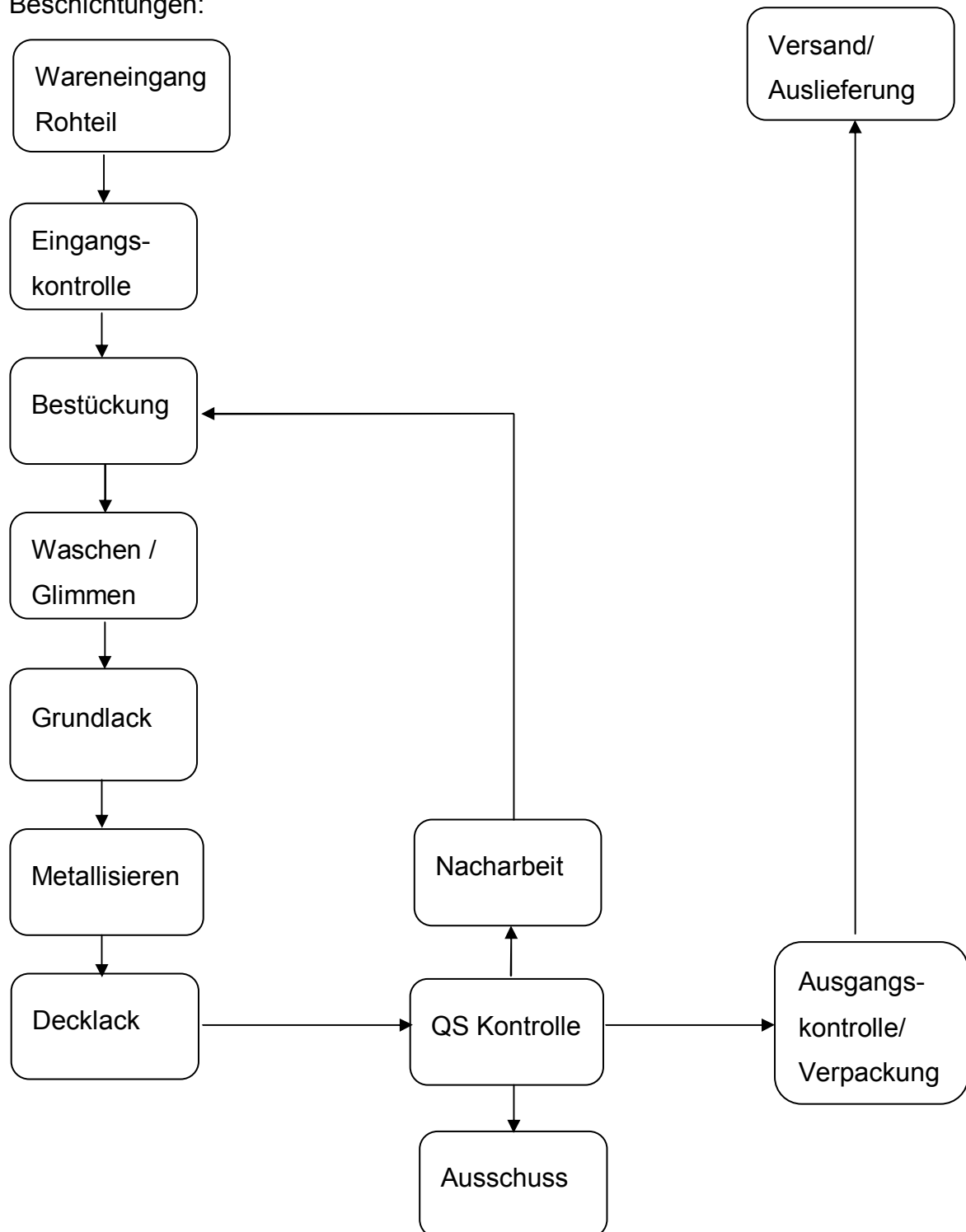
Diagramm 3: Übersicht des prozentualen Ausschusses der Oberteile 2009



## Versand

Nach etwa drei bis sieben Tagen ist der Beschichtungsauftrag erfolgt. Die Versandabteilung verpackt und versendet anschließend die fehlerfreien Artikel.

Die nachfolgende Abbildung beschreibt den Produktionsprozess für dekorative Beschichtungen:



### 3.2 wirtschaftliche Betrachtung

Auf Grund der anhaltend hohen Ausschussquote ist es für die Geschäftsleitung von großer Bedeutung zu wissen, ob die gegenwärtigen Verkaufspreise, gegenüber den Herstellungskosten des Artikels, ökonomisch vertretbar sind.

Anhand einer Nachkalkulation des Verteilers, im Zeitraum von Juni bis August 2009, wird die Rentabilität geprüft. Für die statistische Auswertung wurden 87 Chargen mit insgesamt 15.198 Teile und den benötigten Materialeinsatzkosten, Arbeitszeiten und Ausschussquoten bewertet.

Die Ist-Zeiten für die Be- und Abstückung, Lackierung sowie Endkontrolle wurden dem betriebsinternen Intranet entnommen. Analog gilt dies für den Lackverbrauch und dem entstanden Ausschuss. Die eingesetzte Menge an Grund- und Decklack wurde zunächst getrennt betrachtet, da für diese unterschiedliche Anteile an Härter sowie Lösemittel zur Anwendung kommen und individuell berechnet wurden.

Die Deckungssätze der Bestückerinnen, der Mitarbeiterinnen der Endkontrolle sowie der Lackierer setzen sich aus dem Personalkostensatz sowie den Gemeinkosten aus Fertigung und Verwaltung zusammen. Die Stundensätze der Lackierer werden zusätzlich mit dem Maschinenstundensatz der entsprechenden Spritzkabine und der Hochvakuumbedampfungsanlage belastet. Die Höhe der Stundensätze von 33,77 € bzw. 49,38 € ergeben sich aus dem berechneten Deckungssätzen nach Daniela Porstendörfer. Mit Absprache der Geschäftsleitung entschieden wir uns, bei den Berechnungen die langfristigen Deckungssätze einzubeziehen, um bei der Kalkulation alle Fixkosten zu berücksichtigen.

Stückzahl	:	15198 [n]	Einkaufspreis:	0,4155 €/Stck.
Gutteile	:	8451 [n]	Verkaufspreis:	1,7396 €/Stck.
Ausschuss	:	6747 [n]		
Ausschuss (durchschnittlich)	:	44,39 [%]		

Rohteileinkauf:		6.314,77 €
Materialkosten:		
Lackkosten	1474,35 €	
Bedampfungskosten	51,13 €	1525,48 €
Fertigungseinzelkosten:		
Bestückung	3914,62 €	
Lackierung	3106,50 €	
Endkontrolle	2606,03 €	9.627,15 €
Summe Herstellkosten		<u>17.467,40 €</u>

**Tabelle 2: Zusammensetzung der Herstellkosten**

Für die Herstellung von 86 Chargen der Verteiler, entstehen Kosten in Höhe von 17.467,40 €. Vergleicht man den notwendigen Aufwand mit dem Erlös, welcher sich durch die tatsächlich verkaufbaren Teile ergibt, geht daraus hervor, dass pro Verteiler 2,07 € Herstellungskosten entstehen. Das bedeutet, dass mit dem derzeitigen Verkaufspreis bzw. Ausschuss, ein Verlust von 0,33 €/Stck. anfällt. Bezogen auf 15.198 Stck. ergibt sich ein Verlust von 2.226,51 €. Nähere Zusammenstellungen der Kosten sind der Anlage 1, S. 77-80, zu entnehmen.

- Verkaufspreis bezogen auf Herstellkosten und Ausschuss: 2,07 €/Stck.
- Verlustgeschäft: - 0,33 €/Stck.
- Verlust des kalkulierten Zeitraumes: 2.226,51 €
- Break- even- Point des Ausschusses: 33,9 %

Um wenigstens den Break- even- Point zu erreichen, hätte die Ausschussquote bei maximal 33,9 % oder 5157 Stück liegen dürfen. Für den vorliegenden Fall würde das bedeuten, dass der Ausschuss um 10,49 % gesenkt werden müsste. Die aufgeführte Kalkulation beweist, dass momentan keine effiziente Bedampfung dekorativer Artikel stattfindet. Ziel sollte es sein, die aufgeführten Mehrkosten zu beseitigen.

Theoretisch ergeben sich in Bezug auf die nachfolgenden Produktionsprozesse drei Möglichkeiten:

- Die Bearbeitungszeit in den einzelnen Arbeitsbereichen müsste verkürzt werden
- Die Verkaufspreise müssten angehoben werden
- Ausschussquoten senken durch Optimierung des Produktionsprozesses

Eine schnellere Bearbeitung könnte zu Qualitätsverlusten und demzufolge zu weiteren Ausschüssen führen. Des Weiteren werden die Verteiler zu marktüblichen Preisen verkauft, sodass ein Anheben des Preises zum Verlust des Auftrages führen könnte. Daraus folgt, dass nur eine Optimierung des Produktionsprozesses als Lösungsmöglichkeit besteht.

### **3.3 Ablaufschema der Untersuchung**

- Bauteilbeschreibung  
Es werden die Referenzartikel vorgestellt, indem die Geometrie und Flächenrauigkeit erläutert werden
- Schichtsystem  
Untersuchung Beschichtung gegenüber anderen Substraten, Verhalten der einzelnen Schichten
- Fehleridentifikation  
Zur Eingrenzung der möglichen Fehlerursache werden örtlichen Verteilungen der Störungen dokumentiert. Unterschiedliche Fehlerarten sollen charakterisiert und beeinflussende Parameter überprüft sowie untersucht werden.
- Oberflächenanalyse  
Anhand unterschiedlicher Untersuchungsverfahren werden fehlerfreie und fehlerhafte Oberflächenbereiche detaillierter untersucht und beurteilt. Ziel ist es, die Defekte im Mehrschichtsystem zu lokalisieren und mögliche Störungen im Lack aufzudecken.



## 4 Fehleranalyse und Bearbeitung

### 4.1 Analyse der Fehlerbereiche

Bei den zu untersuchenden Referenzbauteilen handelt es sich um die Artikel Verteiler und Kugelschreiber, bestehend aus Vorder- und Oberteil.

Der Verteiler besitzt die Form einer schmalen rechteckigen Säule. An der Unterseite befindet sich ein halbrunder Abschluss, an dem die Abschlüsse durchgehen (siehe Abbildung 16).

Ober- und Vorderteil verfügen über eine zylindrische Geometrie, wobei das Vordererteil konisch geformt ist (Abbildung 17 und 18).



Abbildung 16: Vorderteil

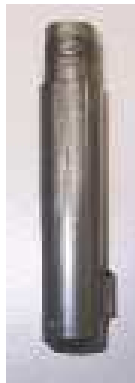


Abbildung 17: Oberteil

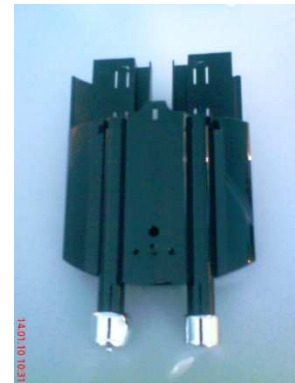


Abbildung 18: Verteiler

Alle drei Bauteile sind aus dem Thermoplast ABS hergestellt. Bei Hochglanzbeschichtungen ist es wichtig, dass möglichst glatte Oberflächen vorhanden sind, um ebene glänzende Schichten zu erzielen. Bei einer topografischen Untersuchung mit dem AFM, konnten durchschnittliche Flächenrauigkeiten von 22nm (Verteiler), 23nm (Oberteil) und 25nm (Vorderteil) gemessen werden. Werte, die für Hochglanz- Metallisierungsschichten eine gute Basis bilden.

Mit dem betriebsinternen Intranet ist es möglich die Referenzartikel bis Mai 2008 zurückzuverfolgen. Anhand dieser Daten ist erkennbar, dass bei etwa 50% der Bauteile nach der Beschichtung Imperfektionen in Form von pickelartigen Erscheinungen sowie Löcher oder Vertiefungen auftreten. Zur

Eingrenzung möglicher Fehlerursachen wurde zunächst eine quantitative Erfassung der lokalen Häufigkeiten von 55 Artikeln ermittelt. Dies sollte darüber Auskunft geben, ob die Störungen überwiegend rechts, links oder in der Mitte auftreten. Zusätzlich wurde vermerkt um welche Fehlerart es sich handelt. Anhand dieser Analyse wurde verdeutlicht, dass keine Einschränkungen bzw. Häufigkeiten einzelner Bereiche auftreten, somit kann z.B. rechtsseitiges Anfahren der Spritzanlage ausgeschlossen werden. Weiterhin ist aus Anlage 2, S.80: Fehlerbildverteilung des Verteilers zu erkennen, dass dominierend Löcher auftreten, bei denen es sich um Krater oder Kocher handeln kann.

Eine weitere Untersuchung sollte darüber Auskunft geben wie sich das Mehrschichtsystem (Grundlack, Metallisierungsschicht, Decklack) auf anderen Substraten verhält. Dafür wurden 25 Objektträger und 25 PC-Blättchen analog beschichtet. Um auch Unterschiede während der Applikation feststellen zu können, wurden nach jedem Beschichtungsgang Proben entnommen und ihr Erscheinungsbild analysiert.

Hierbei ergab sich, dass sich die Endresultate der Objektträger mit denen der PC- Proben ähnlich verhielten und ebenso viel „Ausschuss“ vorzufinden war. Das gleiche gilt für die einzelnen Beschichtungsgänge, auch dort waren keine Unterschiede hinsichtlich der Ergebnisse zu beobachten.

Dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass die entstehenden Inhomogenitäten nicht nur auf den Kunststoffen, sondern auch auf anderen Substraten auftreten. Somit kann der verwendete Kunststoff als Ursache vorerst ausgeschlossen werden.

Im Anschluss daran wurde bei weiteren 30 PC-Proben untersucht, welche Schicht die Störungen verursacht. Dazu wurden jeweils 10 grundlackiert, 10 mit Aluminium bedampft und weitere 10 mit einer Decklackierung versehen.

Die Muster zeigten eine fehlerfreie PVD- Beschichtung. Die Proben mit der Grund- und Decklackierung verfügten über Oberflächenstörungen. Dies führt zum Ergebnis, dass der Grund der Fehler nicht der Aufdampfprozess, sondern die Lackierung ist.

## **4.2 Wässrige Reinigung**

Bei der Versuchsdurchführung der wässrigen Reinigung sollte untersucht werden, ob eine andere, weitere Oberflächenvorbehandlung zu einer Verbesserung führt. Dafür wurden 270 Verteiler (10 Spülgänge mit jeweils 27 Stück) getestet. Die Waschung erfolgte im Wasseraufbereitungsautomat der Weinert Wassertechnik GmbH.

Waschvorgang:

Das Leitungswasser wird in die „Wasseraufbereitungsanlage“ zum Ionenaustausch gepumpt. Anschließend wird das aufbereitete, vollentsalzte Wasser in den Waschautomat zur Reinigung geleitet. Dort wird es mit „Debusol MS 700“, ein hochalkalisches, phosphat- und chlorfreies Spülmittel, vermischt und bewirkt einen Reinigungseffekt. Das anschließende Spülen mit dem Klarspüler „Debusol KS 400“ entfernt die alkalische Reinigungslösung auf den Kunststoffoberflächen. Durch die enthaltenen nichtionisierten Tenside wird die Oberflächenspannung herabgesetzt und ermöglicht eine vollständige Benetzung.

Nach etwa 5min war der Waschvorgang beendet. Schließlich blies man die Verteiler mit Druckluft ab, um keine Wasserflecken entstehen zu lassen. Abschließend wurden sie in eine mit Baumwolltuch ausgelegte Kiste abgelegt. Nach einem Tag der Lagerung erfolgte die Lackierung.

## **4.3 Einflussgrößen Lackkabine**

In Abhängigkeit der Umgebungseinflüsse, wie Temperatur und Luftfeuchte, verändern Lacke ihre Viskosität, die Benetzungseigenschaften und ihr Fließverhalten. Das bedeutet, dass Veränderungen dieser Faktoren zwangsläufig Veränderung des Beschichtungsergebnisses zur Folge haben.

Des Weiteren ist zu untersuchen, ob unterschiedlich hohe Ausschussraten bezüglich der Wochentage auftreten. Da Artikel, welche Montag auf dem Lackplan stehen, Freitag aufgestückt werden und über das Wochenende auf

den offenen Hordenwägen gelagert sind. Dadurch könnte sich vermehrt und stärker haftender Staub anlagern.

Zu viele Spritzgänge und die sich dadurch herausbildenden hohen Schichtdicken sowie ungeeignete Spritzdrücke können zu Verlaufsstörungen, Orangenhaut, bzw. Kratern führen. Auch diese gilt es zu beobachten.

Für die dekorative Beschichtung stehen zwei Lackierer zu Verfügung. Die Männer arbeiten wöchentlich abwechselnd im Früh- bzw. Spätdienst. Trotz vorgeschriebener Arbeitsanweisungen, soll eine Überprüfung der Verfahrensweisen bezüglich Lackierung und Einstellungen stattfinden. Dies gibt Auskunft darüber, ob unterschiedliche Bearbeitungen erfolgen und wie sich diese auswirken. Zusätzlich werden die Lackierer mit den entstandenen Ausschüssen verglichen um eventuelle Inkompetenzen aufzuzeigen.

Da Druckluft über einen Schlauch zur Spritzpistole gelangt, ist wasserfreie Druckluft bei Anwendung einer Hoch- bzw. Mitteldruck- Spritzanlage unbedingt notwendig. Ist Feuchtigkeit in der Druckluftanlage vorhanden, kann diese über den Schlauch auf die zu lackierenden Teile gelangen und Blasen, Krater oder Löcher auf der Oberfläche verursachen.

Bei einer technischen Durchsicht, welche alle drei Wochen bei den Spritzanlagen durchgeführt wird, wurden Korrosionsrückstände im Ansaugschlauch festgestellt. Fraglich ist, woher der Rost stammen kann, da die Anschlussstutzen aus verzinktem Stahl bestehen und der Schlauch erst nach etwa 60 cm mit Edelstahl ausgestattet ist. Auch hier besteht Gefahr, dass durch den Schlauch gelöste Rostpartikel beim Lackauftrag auf die Kunststoffe mitgeführt werden könnten.

Durch die Vielzahl der beeinflussenden Faktoren aus der Lackkabine wurde in der Zeit vom 03.07.2009- 17.07.2009 der Prozess der Lackierung analysiert und protokolliert. Gleichzeitig entstanden Bemerkungen über zwischenzeitliche Beobachtungen vor und während der Lackierung. (Anlage 3: Dokumentation Lackkabine, S.81- 82)

#### **4.4 Trocknungsprozess**

Ziel der Untersuchung an der Ofenanlage war es herauszufinden, ob unterschiedliche Wärmeeinflüsse verantwortlich für die Ausschussartikel sind. Bei diesem Experiment kamen die Verteiler, der Ofen der Lackkabinen 1 und Temperaturstreifen zum Einsatz. Je nach Wärmeeinfluss kann man maximal einwirkende Temperaturbereiche an den Teststreifen anhand einer farbigen Absetzung ablesen. Dazu wurden die Streifen an 12 unterschiedlichen Bereichen des Hordenwagens auf die Verteiler geklebt.

Nach ca. 120 min war der Trocknungsprozess abgeschlossen und die Teile wurden aus dem Ofen geholt. Anschließend verglich man die Temperaturen der Teststreifen mit der manuell eingestellten Ofentemperatur. Darüber hinaus fanden Erforschungen statt, ob vermehrte Störungen der Beschichtungen an bestimmten Bereichen des Ofens festzustellen sind.

#### **4.5 Untersuchungsverfahren**

Mit Hilfe eines Lichtmikroskops ist eine vergrößerte Darstellung der Oberfläche möglich. Somit können Fehlerstellen besser beurteilt werden und es besteht die Möglichkeit, sie anhand ihrer Definitionen erkennen zu können. Um genau zu ermitteln aus welchem Beschichtungsgang die Fehler hervorgehen, soll eine Mikroschliffuntersuchung zeigen. Bei der Präparation des Querschliffs, wird an der Referenzfläche ein Schnitt durch Schicht- und Grundwerkstoff gelegt und kann durch die verschiedenen Vergrößerungen des Lichtmikroskops beurteilt werden. Um zu klären, um welche Art von Fremdpartikeln es sich handelt, bietet sich die Rasterelektronenmikroskopie mit EDX an. Bei diesem Verfahren rastert ein erzeugter Elektronenstrahl die Probenoberfläche ab. Durch das Auftreffen auf die Probe kommt es zu Wechselwirkungen, das Abbild der Oberfläche wird wiedergegeben und liefert Informationen über die chemische Zusammensetzung der Oberfläche. [23] [33] [34]

Die Apparaturen, welche für unterschiedliche Untersuchungsmethoden notwendigen waren, wurden von der Hochschule Mittweida bereitgestellt.

#### 4.5.1 Stereomikroskopie

Mit Hilfe des Stereomikroskops sollten auftretende Fehlerbilder detaillierter erforscht werden. Vergrößerten Ansichten Störungen offenlegen, um weitere Informationen zu den Ursachen, welche für die Erhebungen verantwortlich sind, zu erhalten. Durch die hohe Reflexion der Schichten war keine mikroskopische Beurteilung der metallisierten Verteileroberfläche erfassbar. Aus diesem Grund wurden für die mikroskopischen Untersuchungen die mit „Durodur 2070e“ grundlackierten PC- Beschichtungsmuster gewählt. Dabei untersuchte ich ausschließlich die Muster intensiver, welche häufig auftretende Fehlerbilder demonstrierten.



Abbildung 21: dekorativ beschichtetes Vorderteil



Abbildung 22: dekorativ beschichteter Verteiler

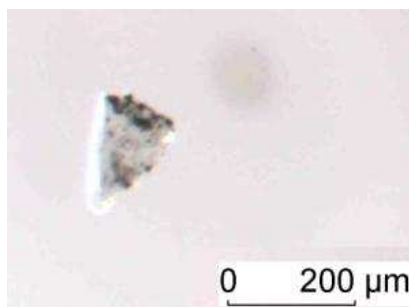


Abbildung 19: Muster 3, PC mit Grundlack

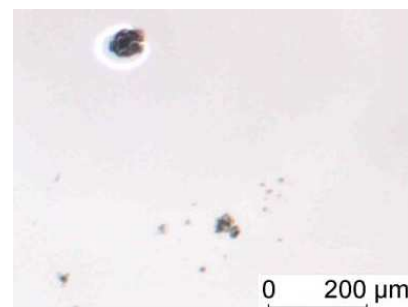
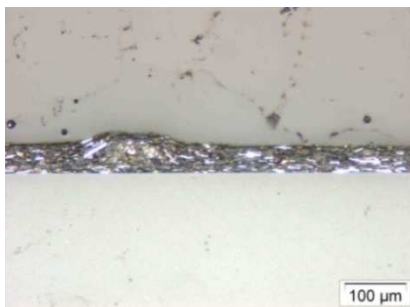


Abbildung 20: Muster 4, PC mit Grundlack

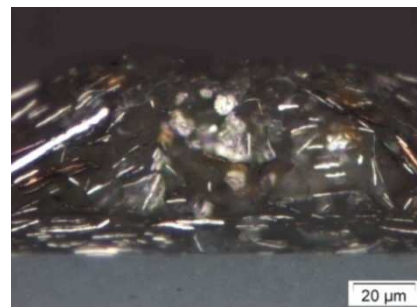
#### 4.5.2 Mikroschliff

- Start-Stop-Taste

Die „Start- Stop- Taste“ wird im Gegensatz zu den Referenzartikeln nur mit einem Metalliclack beschichtet. Vor der Untersuchung demonstrierte der Artikel deutlich herausragende, stechende pickelartige Störungen. In den Abbildungen 23- 26 ist zu erkennen, dass in beiden Bauteilen Erhebungen im Lack nachweisbar sind. Auffällig ist, dass das Fehlerbild im Bauteil 1 keine Kuppe, sondern die Form eines Stumpfes besitzt, ein sehr charakteristisches Erscheinungsbild für einen Krater. Der Auslöser ist möglicherweise ein Gaseinschluss. Da die „kritische“ Stelle nicht präzise getroffen wurde, lassen sich an dieser Stelle nur Vermutungen aufstellen (Vergl. Anlage 5: Mikroschliff der Start- Stop- Taste, S. 84- 86).

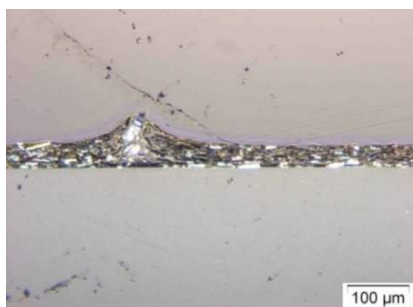


**Abbildung 23: Bauteil 1 „Start- Stop- Taste“  
- Detail 1, n.i.O.- Bereich**

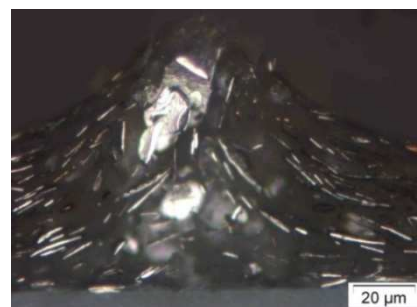


**Abbildung 24: Bauteil 1 „Start- Stop- Taste“  
- Detail 2, n.i.O.- Bereich**

In Bauteil 2 besitzt die Störung eine spitze Form. Es ist zu erkennen, dass es sich bei der Anhäufung des Lackes um ein glänzendes metallisches Partikel handelt, das für die Erhebung verantwortlich ist. Ob der Partikel aus dem Lack stammt oder nicht, könnte eine Elektronenmikroskopie klären.



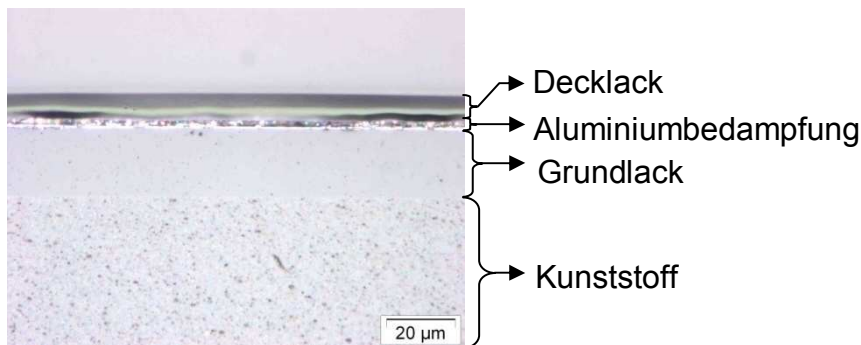
**Abbildung 25: Bauteil 2 „Start- Stop- Taste“  
- Detail 1, n.i.O.- Bereich**



**Abbildung 26: Bauteil 2 „Start- Stop- Taste“  
- Detail 2, n.i.O.- Bereich**

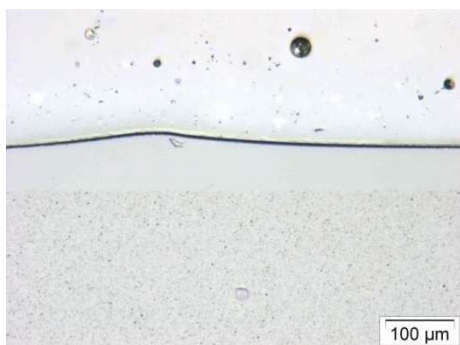
○ Verteiler

Im i.O.-Bereich des Verteilers erkennt man den dreischichtigen Aufbau. Auf dem Substrat befindet sich eine Schicht mit Grundlack (ca. 20 µm). Daran schließt sich die metallische Bedampfung. Die abschließende Decklackschicht beträgt knapp 10 µm.

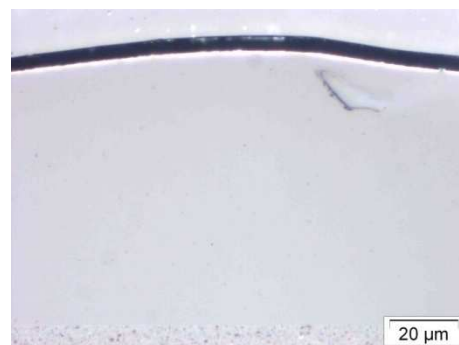


**Abbildung 27: Bauteil 1 "Verteiler"**  
– Detail, i.O.- Bereich

Der n.i.O.-Bereich ist gekennzeichnet durch eine leichte Schwankung der Grundlackschicht. Aus den Abbildungen 28 und 29, bzw. der Anlage 6: Mikroschliff des Verteilers (S. 87- 90), wird ersichtlich, dass die Erhebung aufgrund eines eingeschlossenen eckigen Fremdpartikels hervorgeht. Kocher oder Krater infolge eines Gaseinschlusses können somit ausgeschlossen werden.



**Abbildung 28: Bauteil 2 "Verteiler"**  
– Übersicht, n.i.O.- Bereich

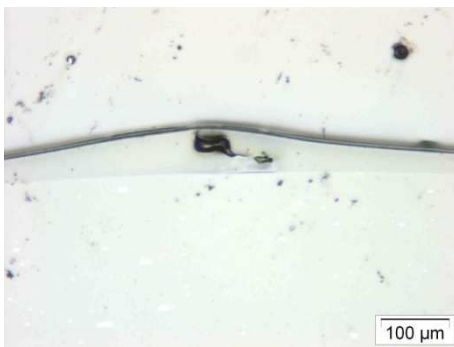


**Abbildung 29: Bauteil 2 "Verteiler"**  
– Detail 1, n.i.O.- Bereich



### ○ Kugelschreiber

Der Kugelschreiber ist ebenfalls mit einem System aus drei Schichten versehen. Der Grundlack ist hier etwa 20 µm stark. Daran schließt sich die metallische Bedampfung und anschließend der Decklack mit etwa 10 µm. In Abbildung 30/ 31 sowie in Anlage 7 (S. 91- 94) ist deutlich ein Fremdpartikel, bzw. Spuren, im Grundlack zu erkennen. Dieser sorgt für eine große Schichtdickenschwankung. Nach Abbildung 31 scheint diese Störung transparent zu sein, sodass sich im Inneren ein Luft- oder Lösemitteleinschluss gebildet haben könnte. Da keine Verbindung zum Untergrund besteht, könnte es sich bei dieser Störung um einen Kocher handeln.

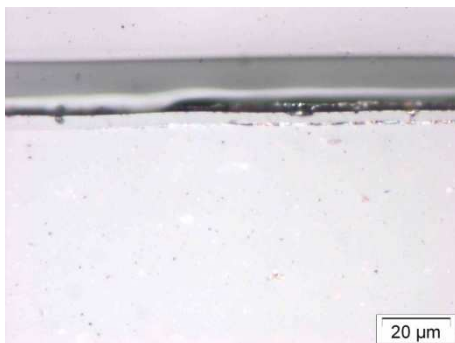


**Abbildung 30: Bauteil 1 "Kugelschreiber"**  
- Übersicht, n.i.O.- Bereich



**Abbildung 31: Bauteil 1 "Kugelschreiber"**  
- Detail, n.i.O.- Bereich

Die Fehlerursache in Bauteil 2 kann nicht eingegliedert werden. Es wird jedoch deutlich, dass im Grundlack erneut Schichtdickenschwankungen vorhanden sind. Aus Abbildung 32 wird ersichtlich, dass die Schwankungen in keinem Zusammenhang mit einem Fremdpartikel stehen. In diesem Fall ist ein Benetzungsfehler des Aluminiums mit dem Grundlack in Betracht zu ziehen.



**Abbildung 32: Bauteil 2 "Kugelschreiber"**  
- Detail n.i.O.- Bereich

### 4.5.3 Rasterelektronenmikroskopie

Mit der anschließenden EDX sollten Erscheinungen, welche bei der Querschliffpräparation Störungen aufwiesen, auf chemische Zusammensetzungen untersucht werden. Dafür kamen die Artikel „Start- Stopp- Taste“ (Bauteil 2) und „Verteiler“ zur Anwendung.

- Start- Stopp- Taste

Nach Abbildung 25/ 26 des Mikroschliffes, bzw. der Anlage 5, sind aus den Aufnahmen der REM- Untersuchung erneut, Erhebungen im Lack der Start- Stopp- Taste zu lokalisieren. Abbildung 33 verdeutlicht, dass es sich bei der störenden Erhebung um eine Anhäufung von Metallicpartikeln handelt. Um Vergleiche zwischen den Bestandteilen des Zentrums und des Umfeldes der Störung ziehen zu können, wurde EDX 1 außerhalb und EDX 4 am Randbereich positioniert.

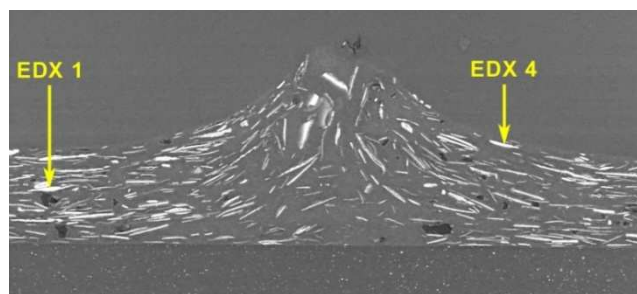


Abbildung 33: Bauteil 2 "Start- Stopp- Taste" n.i.O.- Bereich

In Abbildung 34, EDX 2- 5, ist die vergrößerte Ansicht des metallischen Partikels, welcher ebenfalls beim Querschliff aus Abbildung 26 auffällig wurde, erkennbar. Dieser befindet sich im Zentrum der Störung und wurde mittels EDX 2 analysiert.

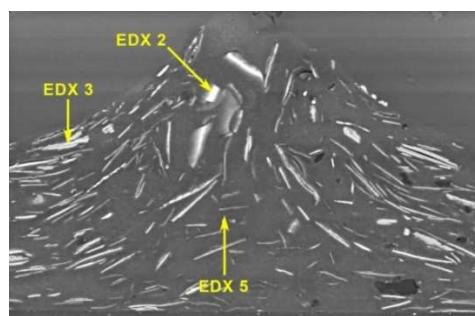
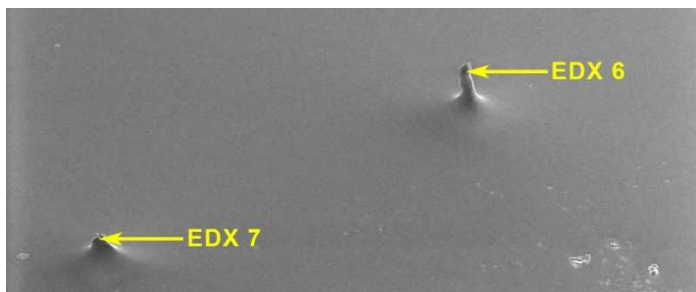


Abbildung 34: Bauteil 2 "Start- Stopp- Taste" n.i.O.- Bereich

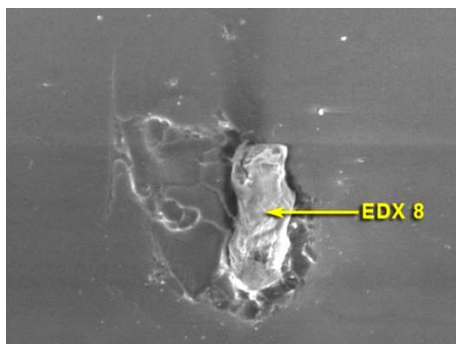
### ○ Verteiler

In der unteren Abbildung sind fehlerhafte Bereiche auf der Oberfläche zu erkennen. Nach Meinungen der Bearbeiter von Mittweida, lassen sich mittels des angewendeten analytischen Verfahrens aus den Erscheinungen keine konkreten Rückschlüsse auf Art und Herkunft dieser Partikel ziehen. Aus diesem Grund wurden zusätzliche Untersuchungen (EDX 8, EDX 9) durchgeführt.

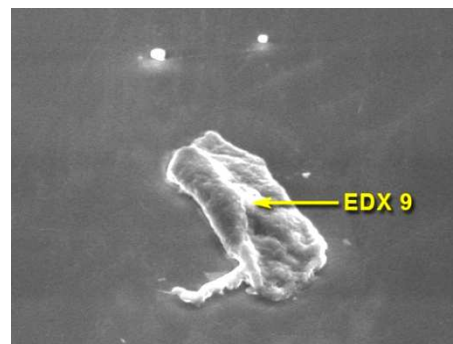


**Abbildung 35: "Verteiler"**

Da es sich bei diesen Fehlstellen um keine Anhäufungen handelt, wurde der Elektronenstrahl EDX 8 und EDX 9 lediglich ins Zentrum der Störung gelenkt.



**Abbildung 36: "Verteiler" n.i.O.- Bereich**



**Abbildung 37: "Verteiler" n.i.O.- Bereich**

## 4.6 Glimmversuche

Suboptimale Einstellungen der verwendeten Arbeitsparameter gegenüber den ABS- Teilen (Verteiler, Kugelschreiber), kann die Wirkung der Oberflächenbehandlung negativ beeinflussen. Ungenügende Plasmabehandlungen können zu partiellen Benetzungsstörungen der Kunststoffoberfläche führen. Fehlererscheinungen durch Haftungsstörungen sind die Folge.

Zur Untersuchung, ob die Qualitätsprobleme aufgrund einer fehlerhaften Benetzung hervorgerufen werden, führte ich dazu unterschiedliche Glimmversuche durch. Bei diesem Experiment sollte hauptsächlich das Verhalten unterschiedlicher Anregungsformen (Wechselstrom, Gleichstrom), und die Variierung der Leistung untersucht werden.

Hierbei kam die „CREAMET 250 CVD 2K“ zur Anwendung. Mit dieser Plasmaanlage ist es möglich, zwischen den Anregungsquellen Gleich- und Wechselstrom zu wählen und gleichzeitig Leistung und Gasdurchflussmenge können manuell variiert werden. Die „CREAMET“ besteht aus zwei voneinander getrennten Kammern (Aktivierungskammer, Beschichtungskammer).

Prozesszeit (3 min) und Druck (0,13 bar) wurden bei der Untersuchung konstant gehalten, Argon bzw. ein Gasgemische aus Argon und Sauerstoff fungierten als Prozessgas.

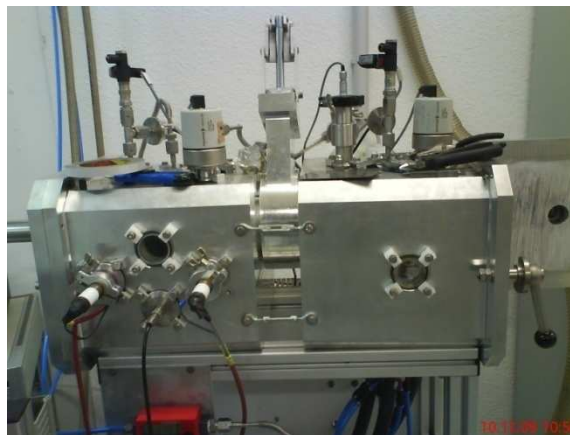


Abbildung 38: „CREAMET 250 CVD 2K“

### Versuchsdurchführung 1: Mittelfrequenz

Argon		
Gaseinlass	243 ccm	243 ccm
Spannung	U=140V	U= 190V
Stromstärke	I= 0,23 A	I= 0,54 A

**Tabelle 3: Glimmversuch: Mittelfrequenz/ Argon**

Argon + Sauerstoff		
Gaseinlass	Ar= 214,5 ccm	Ar= 214,5 ccm
	O <sub>2</sub> = 21,4 ccm	O <sub>2</sub> = 21,4 ccm
Spannung	U=140V	U= 190V
Stromstärke	I= 0,23 A	I= 0,54 A

**Tabelle 4: Glimmversuch: Mittelfrequenz/ Argon und Sauerstoff**

### Versuchsdurchführung 2: Gleichstrom

Argon		
	Versuch 1	Versuch 2
Gaseinlass	< 300 ccm	< 300 ccm
Spannung	45 SKT	53 SKT
Stromstärke	I= 9,5 mA	I = 15 mA

**Tabelle 5: Glimmversuch: Gleichstrom/ Argon**

Argon + Sauerstoff	
Gaseinlass	Ar= 295ccm
	O <sub>2</sub> = 46 ccm
Spannung	U=140V
Stromstärke	I= 0,23 A

**Tabelle 6: Glimmversuch: Gleichstrom/ Argon und Sauerstoff**

### Versuchsdurchführung 3: Temperung

Um Ausgasungen des Kunststoffes nach der Lackierung bzw. Bedampfung aufgrund einer Temperatureinwirkung ausschließen zu können, wurden bei dem dritten Versuch die gleichen Artikel zuvor getempert.

Getempert:

- 1.)  $t = 60$  min bei  $T = 80^\circ\text{C}$ , Verweildauer Temperung- Glimmen: 12 h
- 2.)  $t = 15$  min bei  $T = 110^\circ\text{C}$ , Verweildauer Temperung - Glimmen: 20 min

Argon (DC)	
Gaseinlass	< 300 ccm
Druck	$p = 0,12$ mbar
Spannung	60 SKT
Stromstärke	$I = 15$ mA
Zeit	$t = 3$ min

**Tabelle 7: Glimmversuch: Temperung mit Gleichstrom/ Argon**

Argon (MF)	
Gaseinlass	< 300 ccm
Druck	$p = 0,12$ mbar
Spannung	$U = 132$ V
Stromstärke	$I = 0,17$ A
Zeit	$t = 3$ min

**Tabelle 8: Glimmversuch: Temperung mit Mittelfrequenz/ Argon**

## **4.7 Lackmuster**

Erste Fehlererscheinungen bei der Herstellung dekorativer Hochglanzschichten, zeigen sich bereits nach der Grundlackierung.

Wie schon im Kapitel 2.2 angemerkt, muss der Lack auf den Kunststoff und dessen Eigenschaften abgestimmt sein um einen optimalen Lackverlauf und entsprechenden Glanz zu erhalten. Es gilt daher, unterschiedliche Lacksysteme zu applizieren und auf ihre Eignung als Grundlack zu prüfen.

### **Berlac**

Die erste Lackapplikation erfolgte mit dem Haftprimer für PVD Beschichtungen (042.935.100) des Lackherstellers Berlac. Dabei handelt es sich um einen 2- Komponentenlack auf Lösemittelbasis. Die Verarbeitung des Lackes mit dem Härter 042.935.080 ist mit einem Mischverhältnis 5:1 anzusetzen. Die Zugabe der Verdünnung 005.009.000, kann 30- 60 % betragen. Für die Versuchsdurchführung wurden Lösemittelzugaben von 30 % und anschließend 50 % gewählt.

Für die Decklackierung kam der PVD Top-Coat zur Anwendung.

Für die Erprobung des Lackes von Versuch 1 und 2 wurden pro Versuch zwei Halterungen mit jeweils 20 Verteilern getestet. Die nachhaltige Testung 3, erfolgte mit 120 Artikeln. Zusätzlich ist die Anzahl von anfangs zwei, auf einen Spritzgang reduziert worden, da die Oberfläche durch den zweiten Lauf eine unruhige Struktur aufwies.

PVD Haftprimer	Versuch 1 (30% Verdünnung)	Versuch 2 (50% Verdünnung)	Versuch 3 (75% Verdünnung)
Lack	1000g	600g	800g
Härter	200g	120g	160g
Verdünnung	302g	300g	600g
Luftfeuchte	35%	35%	22,2%
Raumtemperatur	21,7°C	21,7°C	27,2°C
Spritzgänge	2	2	2-1
Spritzdruck	4,2 bar	4,2 bar	3,2 bar
Trockenzeit Ofen	120 min	120 min	120min
Ofentemperatur	80°C	80°C	80°C

**Tabelle 9: Lackversuch: "PVD- Top- Coat", Berlac**



**Mankiewicz**

Weitere Proben wurden mit Lackmustern aus dem Hause Mankiewicz untersucht. Bei diesen Produkten handelte es sich um die wasserlöslichen Lacke „Laborprodukt LN 140.0008.3.“ sowie um „Alexit- Decklack 342.23“. Auch diese Probebeschichtungen wurden mit jeweils 40 Verteilern durchgeführt.

Laborprodukt	Versuch 1 (15% Verdünnung)	Versuch 2 (25% Verdünnung)
Lack	309g	255g
Härter	40g	37g
Verdünnung	45g	69g
Luftfeuchte	36,7%	36,7%
Raumtemperatur	21,4°C	21,4°C
Spritzgänge	2	3
Spritzdruck	4,2 bar	4,2 bar
Trockenzeit Ofen	120 min	120 min
Ofentemperatur	80°C	80°C

**Tabelle 10: Lackversuch: "Laborprodukt", Mankiewicz**

Neben dem Einsatz als Überzugs- und Schutzlack, kann der Alexit- Decklack 324-23 als Grundierungen für thermoplastische Kunststoffuntergründe verwendet werden. Je nach Anwendung kann man den Lack mit maximal 10 % Wasser verdünnen. Das Mischungsverhältnis mit dem dazugehörigen Alexit-Härter 345-38 beträgt 8:1.

Wie schon bei dem Laborprodukt, legte sich auch bei dieser Grundlackierung ein milchig, weißer Niederschlag auf den Teilen nieder. Des Weiteren beobachtete man, dass sich der Lack flockig absetzte. Daraufhin erhöhte der Lackierer den Spritzdruck auf 4,2 bar und reduzierte den Spritzgang auf einen Lauf. Als Nasslack hinterließ der Alexit- Decklack 324-23 mit 10 %'iger Verdünnung ein besseres Erscheinungsbild als mit 5 %.

Decklack	Versuch 1 (5% Verdünnung)	Versuch 2 (10% Verdünnung)
Lack	500g	204g
Härter	60g	25g
Verdünnung	25g	20g
Luftfeuchte	37,3%	36,9%
Raumtemperatur	20,8°C	21°C
Spritzgänge	2 1	2
Spritzdruck	3,2 bar, 4,2 bar	4,2 bar
Trockenzeit Ofen	120 min	120 min
Ofentemperatur	80°C	80°C

**Tabelle 11: Lackversuch: "Alexit- Decklack", Mankiewicz**

Zusätzlich zu den wasserlöslichen Lacken wurde ein lösemittelhaltiger Lack von Mankiewicz bezogen, der „Alexit- HighGloss-Clearcoat 460- 13“.

Zu dem Beschichtungsmaterial waren keine Verarbeitungshinweise verfügbar, aus diesem Grund verwendete man die der Aufschrift des Lackgebindes. Daraus entnahmen wir, dass der Lack mit dem Härter „Härter 450“ im Verhältnis 2:1 anzusetzen ist, Angaben zum Mischungsverhältnis mit dem dazugehörigen Verdünner „Verdünner 901.86“ waren nicht vorhanden.

Bei Einstellung der Spritzpistolen stellte der Lackierer fest, dass der Lack mit 50 % Verdünnung zu hochviskos war und erhöhte den Anteil des Lösemittels. Sodass nach ersten Einstellungen (300g Lack, 150g Härter, 150g Verdünnung) der Lack folgendermaßen aufgetragen wurde:

HighGloss- Clearcoat	Versuch 1 (74% Verdünnung)
Lack	270g
Härter	120g
Verdünnung	200g
Luftfeuchte	21,4%
Raumtemperatur	28,4°C
Spritzgänge	2 1
Spritzdruck	3,5 bar
Trockenzeit Ofen	120 min
Ofentemperatur	80°C

**Tabelle 12: Lackversuch: "HighGloss- Clearcoat", Mankiewicz**

## **5 Auswertung der Ergebnisse**

### **5.1 Wässrige Reinigung**

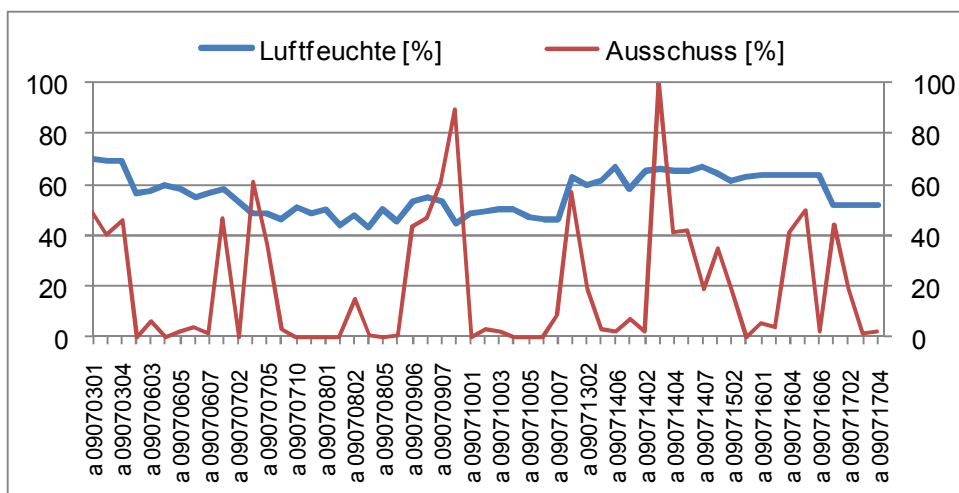
Fett und Trennmittel sind eine der größten Ausschussquellen bei der Kunststofflackierung. Anhand des Versuches und zum Vergleich der Oberfläche von gewaschenen und ungewaschenen Verteilern, wurde keine Verbesserung der Beschichtung erkannt. Bei diesem Versuch zeigte sich, dass sich die Oberfläche der gewaschenen Artikel verschlechterte. Zwar war die Größe der Oberflächenfehler kleiner, jedoch erwies sich eine höhere Anzahl von Kratern, Kochern und Nadelstichen. Der Ausschuss belief sich auf etwa 50%. In Anlage 10, S. 100/ 101, ist der gesamte Lackierprozess von Grund- und Decklackierung dokumentiert worden; Anlage 11 (S.101/ 102) beinhaltet eine Übersicht der Fehlerbildverteilung der gewaschenen sowie ungewaschenen Verteiler.

## 5.2 Einflussgrößen Lackkabine

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft kann die Trocknungsvorgänge der Lacke erheblich beeinflussen. Zu niedrige Luftfeuchtigkeiten führen zu noch schnelleren Vernetzungsreaktionen der Zweikomponentenlacke. Dadurch kann der Lack nicht richtig verlaufen und Fehlererscheinungen wie Orangenhaut sind die Folge. Bei einer zu hohen Luftfeuchtigkeit kann sich mikroskopisch fein verteilte Feuchtigkeit auf dem Artikel absetzen. Dabei kann es zu Reaktionen mit dem PUR- Lack kommen und zum Herausbilden von Kochern, Nadelstichen oder Kratern führen.

Während des Zeitraumes vom 03.- 17.07.2009 betrug die Luftfeuchte zwischen 50 und 70 %. Zu diesem Sachverhalt zeigt Diagramm 4, dass die Schwankungen des Ausschusses in keinem Zusammenhang mit den Schwankungen der Luftfeuchte stehen.

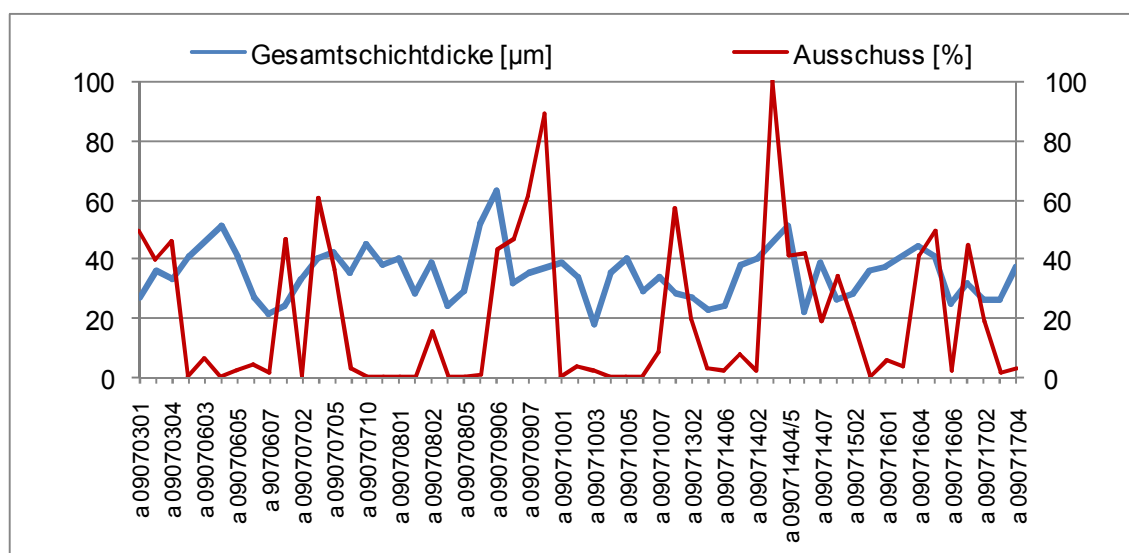
**Diagramm 4: Einflussverhalten der Luftfeuchte gegenüber dem erfolgtem Ausschuss**



Für die optische Wirkung der lackierten Oberfläche ist das Einhalten der Schichtdicken ein wichtiger Parameter. Technische Merkblätter sind dazu meist mit Angaben über empfohlene Schichtdicken versehen. Bezüglich der Beschichtung der Verteiler sowie der Ober- bzw. Vorderteile sind Angaben über

Trockenschichtdicken von 20 +/- 5 µm dokumentiert. Anweisungen dieser Art sind für die Lackierer schwer zu realisieren, da die Artikel eine räumliche Geometrie besitzen und eine vollflächige Lackierung erforderlich ist, wodurch mehrere Spritzgänge bedingt sind. Weiterhin müssen einige Artikel 3- 4mal lackiert werden um Löcher abzudecken. Diagramm 5 stellt die Unregelmäßigkeiten der erzielten Gesamtschichtdicken dar. Ein kongruenter Verlauf hinsichtlich der Fluktuation bzw. dem Überschreiten der Gesamtschichtdicke gegenüber dem Ausschuss, ist nur geringfügig erkennbar.

**Diagramm 5: Einflussverhalten der Gesamtschichtdicke gegenüber dem erfolgtem Ausschuss**

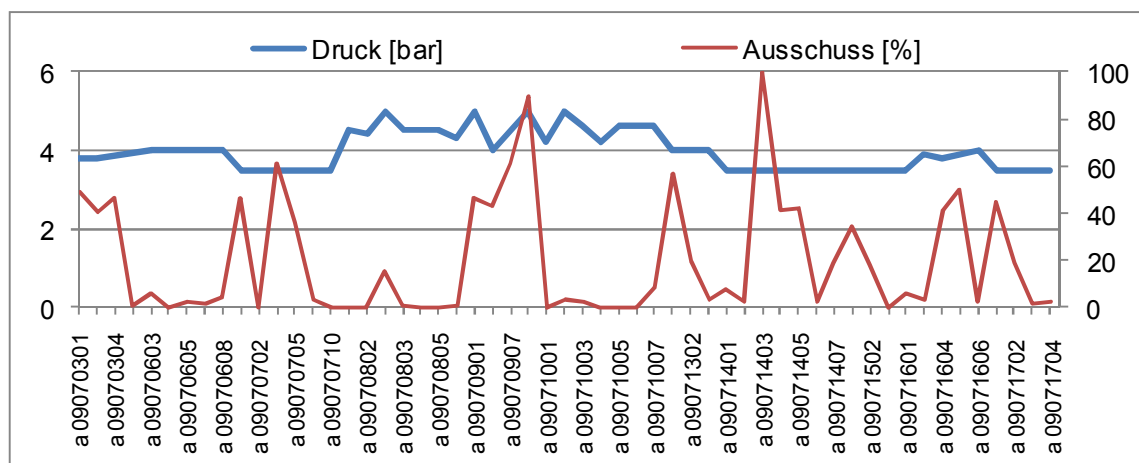


Wird mit einem überhöhten Spritzdruck gearbeitet, kann dies zu Lösemiteileinschlüssen und somit zu Bläschenbildungen auf der Oberfläche führen. Des Weiteren kann es bei abweichenden Vorgaben des Spritzdruckes mit dem dazugehörigen Düsendurchmesser, zu Verlaufsstörungen kommen und Läufern oder Wolkenbildungen hervorgerufen werden.

Dekorative Artikel sind nach dem Technischen Merkblatt von Rohm und Haas mit einem Düsendurchmesser der Pistolen von 1,2 mm und einen Spritzdruck von 4 bar zu spritzen; nach den Lackieranweisungen aus dem Hause Creavac sollte der Düsendurchmesser der Pistolen 0,8 mm und der Spritzdruck 4 bar bei Verteilern, Oberteilen sowie Vorderteilen etc. betragen. Praktisch ist es so, dass

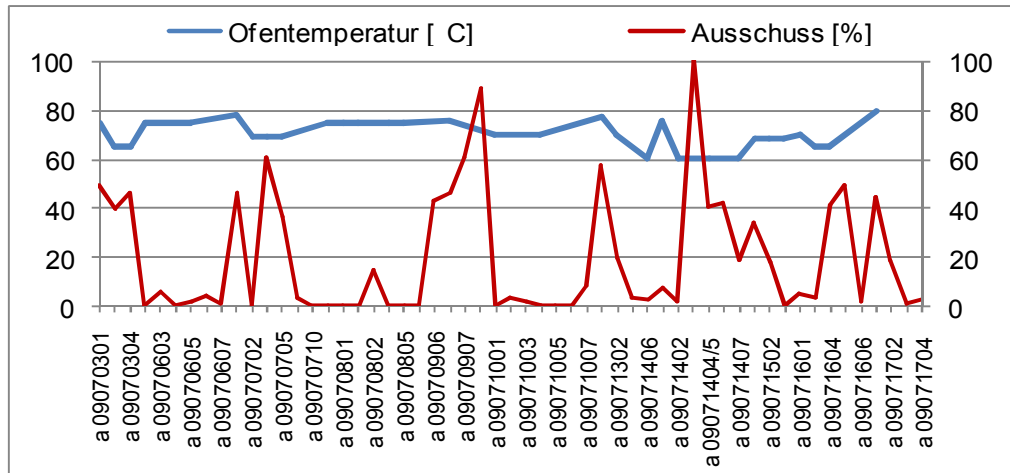
die Lackierer nicht alle Teile mit dem gleichen Arbeitsdruck lackieren können. Durch die unterschiedlichen Geometrien der Artikel, sind fortwährend individuelle Einstellungen notwendig. Dies ist im folgenden Liniendiagramm 6 nachvollziehbar. Es zeigt, dass die Schwankungen des Arbeitsdruckes keinen Einfluss auf den Ausschuss besitzen.

**Diagramm 6: Einflussverhalten des Spritzdruckes gegenüber dem erfolgtem Ausschuss**



Jeder Artikel bei Creavac besitzt eine Lackieranweisung. Auf dieser ist neben den Technischen Daten der Lackierung auch eine Anleitung über den Trocknungsvorgang vermerkt. Der Großteil der dekorativen Teile (wie z. B. Ober- und Vorderteile) werden nach den Angaben der Lackieranweisung 9.9.1 lackiert. In dieser ist dokumentiert, dass die Artikel 90- 120 min bei 80 °C getrocknet werden. Für die Verteiler sind Angaben von 90- 120 min bei 110 °C vorzufinden. Creavac hat sich dazu geeinigt, die Verteiler nur bei etwa 80 °C zu trocknen und dafür mindestens zwei Stunden der Wärme auszusetzen. Die kleinen Schwankungen der Ofentemperaturen im Diagramm 7 kommen daher zustande, weil in einigen Fällen zusätzliche Musterbeschichtungen bzw. andere Artikel mit auf den Hordenwagen für die Ofentrocknung gelangen. Aus der Gegenüberstellung von Ofentemperatur und Ausschuss ist zu entnehmen, dass diese in keinem Verhältnis zueinander stehen.

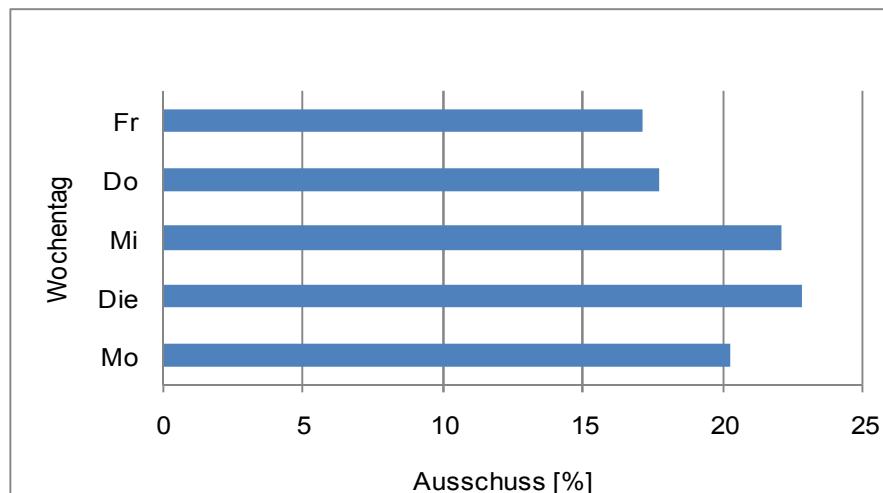
**Diagramm 7: Einflussverhalten der Wärmetrocknung gegenüber dem erfolgtem Ausschuss**



Verteiler, die für Montag auf dem Lackplan stehen, werden zum schnelleren Prozessablauf freitags von den Bestückerinnen auf die Halterungen gesteckt. In einem Zeitraum vom Mai 2008 bis Januar 2010 wurde untersucht, ob Montag der meiste Ausschuss erzeugt wird.

Durch das Lagern an der Luft ist es denkbar, dass sich auf den Artikeln vermehrt und stärker haftender Staub anlagert und Montag nicht richtig entfernt wird. Anhand der Grafik in Diagramm 8 wird verdeutlicht, dass dies nicht der Fall ist. Nach dem Schaubild wird deutlich, dass bezogen auf die gesamte Woche, Dienstag und Mittwoch diejenigen Tage mit dem meisten Ausschuss sind. Hierbei sind keine schematischen Strukturen erkennbar, sodass ich der Meinung bin, dass der Ausschuss nach einem Zufallsprinzip herausläuft.

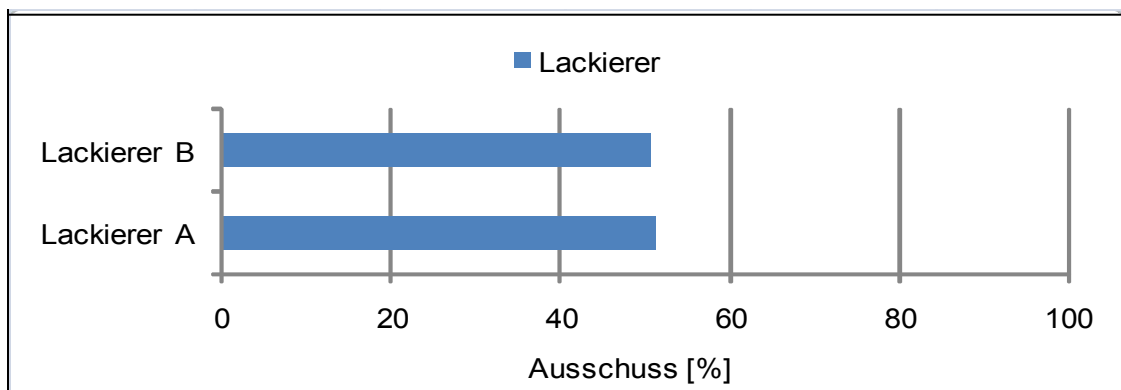
**Diagramm 8: Übersicht Ausschuss bezogen auf die Wochentage**





Im Diagramm 9 sind die Ausschüsse mit den Lackierern, welche für die Grundlackierung der Artikel verantwortlich waren, verglichen worden. Bezieht man sich auf die Werte von Mai 2008 bis Februar 2010, ist zu erkennen, dass die Fehler nicht durch die Hand eines unnachsichtigen Lackierers entstehen.

**Diagramm 9: Vergleich der verantwortlichen Lackierer für die Grundlackierung bezüglich des Ausschuss**



### **5.3 Trocknungsprozess**

Wie aus Anlage 12, S.103, zu entnehmen ist, existieren in der gesamten Ofenanlage annähernd konstante Temperaturen. Fast alle Temperaturmessstreifen wiesen Temperaturen um 71 °C an. Davon lagen drei Streifen im Bereich zwischen 65,5- 71 °C und sechs im Bereich 71- 77 °C. Lediglich zwei im linken unteren, mittleren sowie hinteren Bereich zeigten geringere Wärmeeinwirkungen von 60- 65 °C. Ein Teststreifen verwies auf Temperaturen zwischen 77- 82 °C.

Nach Überprüfung der Temperaturen in der Ofenanlage, erfolgte die Untersuchung auf Fehler verschiedener Positionen auf dem Wagen. Diese ergaben, dass keine Unterschiede bezüglich der Art und Menge des Auftretens der Fehlererscheinungen erkennbar sind. Des Weiteren waren keine Abweichungen von Imperfektionen hinsichtlich der vorderen bzw. hinteren Reihen zu beobachten. Verbesserungen der einzelnen Etagen, ebenso der linken oder rechten Bereiche des Hordenwagens, konnten ebenfalls nicht festgestellt werden. Selbst die unterschiedlichen Ablüftzeiten ließen keine Unterschiede des Lackergebnisses erkennen. Darüber hinaus traten in beiden Öfen identische Erscheinungen auf.

Neuer Ofen: Temperatureinstellung 77°C

Vordere Reihe

Abdunstzeit: 10-2 min

Etage	Erscheinungen
1	Kocher Krater (Erhebungen)
2	Struktur Kocher
3	Kocher Absetzung/ Fussel
4	Benetzungsstörungen
5	-

**Tabelle 13: Ofenuntersuchung:  
"Neuer Ofen", vordere Reihe**

Hintere Reihe

Abdunstzeit: 30- 15 min

Etage	Erscheinungen
1	Benetzungsfehler Krater Fussel/ Faden
2	Krater Läufer Kocher
3	Krater Kocher (Erhebungen)
4	-
5	Benetzung Krater Kocher

**Tabelle 14: Ofenuntersuchung:  
"Neuer Ofen", hintere Reihe**

Alter Ofen: Einstellung 77°C:

Vordere Reihe

Abdunstzeit: 10-2 min

Etage	
1	Kocher Benetzungsstörungen
2	Krater Kocher Fussel (Erhebungen)

**Tabelle 15: Ofenuntersuchung:  
"Neuer Ofen", vordere Reihe**

Hintere Reihe

Abdunstzeit: 30- 15 min

Etage	
1	Kocher Fussel
2	Krater Kocher
3	Absetzung Kocher Krater
4	Kocher Krater Struktur

**Tabelle 16: Ofenuntersuchung:  
"Neuer Ofen", hintere Reihe**

## **5.4 Untersuchungsverfahren**

### **5.4.1 Stereomikroskop**

Die analytische Beurteilung unter dem Mikroskop stellte sich schwierig dar. Sowohl das Rohteil als auch die Beschichtung besitzen einen sehr hohen Glanzgrad. Demzufolge kam es zu sehr hohen Reflexionen und das genaue Fehlerbild ließ sich teilweise nur erahnen. Es lässt sich allerdings vermuten, dass es sich bei den Fehlerbildern in Abbildung 21/ 22 (S.46) welche mit der optoelektronischen Messeinrichtung der Laserabteilung erfasst werden konnten, um Krater, Kocher und Staubeinflüsse handelt. Bei den lichtmikroskopischen Aufnahmen der grundlackierten PC- Muster, wurden mit dem Stereomikroskop ein offensichtlich metallisches Partikel (drahtähnlich) und ein nicht genau identifizierbares Fremdpartikel lokalisiert.

### **5.4.2 Mikroschliff**

Die Untersuchung bewies, dass die Beschichtungsfehler mit Fremdpartikeln im Lack (Start-Stop-Taste) bzw. im Grundlack (Verteiler, Kugelschreiber, Beschichtungsmuster) in Zusammenhang stehen. In Anlage 7 im Bild 4 des Kugelschreibers ist nur noch ein Hohlraum zu erkennen. Es ist anzunehmen, dass die Ursache des Beschichtungsfehlers durch die Probenpräparation entfernt wurde. Des Weiteren ist zu bemerken, dass die Abbildung 19 (Stereomikroskopie: Muster 3, PC mit Grundlack, S. 46) und Abbildung 29 (Mikroschliff: Verteiler, Bauteil 2, S. 48) optische Ähnlichkeiten besitzen.

### 5.4.3 Rasterelektronenmikroskopie

	Bauteil Start Stop-Taste					Bauteil Verteiler	
	EDX 1 <sup>a)</sup>	EDX 2 <sup>a)</sup>	EDX 3 <sup>a)</sup>	EDX 4 <sup>a)</sup>	EDX 5 <sup>a)</sup>	EDX 6 <sup>b)</sup>	EDX 7 <sup>b)</sup>
<b>C</b>	31,67	50,46	34,56	40,26	54,59	61,05	72,51
<b>N</b>	–	–	–	–	–	13,78	27,49
<b>O</b>	11,74	23,55	45,32	14,29	18,36	25,17	–
<b>Mg</b>	1,49	–	8,69	1,24	–	–	–
<b>Al</b>	2,36	25,20	5,70	3,25	26,00	–	–
<b>Si</b>	2,16	0,79	4,88	1,87	1,05	–	–
<b>Fe</b>	–	–	0,85	–	–	–	–
<b>Cu</b>	37,97	–	–	34,39	–	–	–
<b>Zn</b>	12,61	–	–	4,70	–	–	–

**Tabelle 17: Auswertungen EDX 1 - EDX 7 (wt %)**

Die EDX- Auswertungen 1-5, liefern Informationen zu den Zusammensetzungen der Start- Stop- Taste; EDX 6 sowie 7 sind die des Verteilers. Die Elemente C und O, bei der Start- Stop- Taste, sowie C, N, O beim Verteiler, können aus der Zusammensetzung des Polymers stammen. EDX 1 und EDX 4 welche außerhalb des Zentrums positioniert wurden, weisen ähnliche Zusammensetzungen der Oberflächen auf. Aufgrund der Metalliclackierung mit welcher die Start- Stop- Taste versehen ist, ist davon auszugehen, dass die ermittelten Elemente Mg, Al, Si, Cu, Zn aus der Produktmatrix des Metalliclackes resultieren. Das festgestellte Fe könnte aus Schleifpräparation hervorgehen. Mit der Elementaranalyse des Verteilers konnten ebenfalls keine konkreten Ergebnisse erzielt werden. Die Schwierigkeit punktueller Analysen, wie sie in der Hochschule Mittweida zu Anwendung kommen, besteht darin, die Störung genau am richtigen Punkt mit dem Elektronenstrahl zu treffen. Hierbei existiert dieselbe Problematik wie mit dem Querschliff – Fehler sind nicht mehr vorhanden oder sie können sich vor bzw. hinter der Präparation befinden. Die erkennbaren Fehler aus den Abbildungen 35 besitzen Größenordnungen von etwa 20- 40 µm; Maße die für das menschliche Auge kaum erkennbar - und irrelevant für Creavac - sind. Die gesamte Übersicht der Aufnahmen und Auswertungen von EDX 1-EDX 7 sind der Anlage 8: EDX- Analyse, Teil 1 (S.95- 97), zu entnehmen.

	Bauteil Verteiler	
	EDX 8 <sup>a)</sup>	EDX 9 <sup>a)</sup>
<b>C</b>	60,03	60,72
<b>N</b>	16,51	–
<b>O</b>	23,46	35,35
<b>Na</b>	–	1,38
<b>S</b>	–	0,44
<b>Cl</b>	–	1,19
<b>K</b>	–	0,92

**Tabelle 18: EDX 8 - EDX 9 (wt%)**

Aufgrund der verfehlten Präparation des Verteilers aus EDX 6/ 7, wurde eine zweite REM- Untersuchung durchgeführt (EDX 8, EDX 9). Anhand der Tabelle 18, kann es sich bei den ermittelten Elementen, bei der EDX- Messung 9 aufgrund der geringen Konzentrationen, um Salzurückstände handeln. Nach Meinung des Herrn Gehrke (Bearbeiter der REM- Untersuchungen der Hochschule Mittweida), ist es möglich, dass aufgrund des sehr kleinen analysierten Volumens, Artefakte analysiert wurden. Bei Punktanregungen besteht aufgrund des geringen Anregungsvolumens die Möglichkeit, Röntgenstrahlen von Verunreinigung zu erfassen, sodass letztendlich etwas nachgewiesen wird, was mit dem eigentlichen Problemfall nicht in Verbindung steht und das Ergebnis "verfälscht" wird. Durch Analysen weiterer Oberflächenfehler des Verteilers könnte geklärt werden, ob diese ähnliche Zusammensetzungen aufweisen, sodass die Messung EDX 9 als allgemein aussagekräftig gilt. Vergleicht man die Werte der Verteiler in Tabelle 17 und 18 miteinander, identifizieren sich die Elementen C, N, O mit ähnlichen Anteilen.

Da sich durch die EDX- Analysen keine Rückschlüsse auf größere Eisenbestandteile der Verteiler ziehen ließen, ist der Rost, welcher im Druckbehälter zu finden war, zunächst als Ursachenfaktor für die Erhebungen der dekorativen Teile auszuschließen.

Anlage 9, auf den Seiten 98/ 99, enthält die Aufnahmen und die ermittelten Elemente von EDX 8 und EDX 9.

## 5.5 Glimmversuche

Nach unterschiedlichen Glimmversuchen mit verschiedenen Anregungsquellen sowie Gaszusammensetzungen ergaben die Untersuchungen keine signifikante Verbesserung hinsichtlich der Oberfläche.

Jedoch kann ausgesagt werden, dass die mit Gleichstrom behandelten Teile andere Mängel an der Oberfläche aufwiesen. Die mit Gleichstrom aktivierten Vorderteile verfügten über größere Fehlerbilder, deren Beschaffenheit den Kratern ähnlich ist. Sehr auffällig hingegen war die Unterseite der mit Gleichstrom beglimmten Kunststoffe, die eine wellige, leicht krauselige (keine Orangenhaut) Struktur erkennen ließen. Eine Aussage über deren Ursache konnte nicht getroffen werden.

Parallel dazu wurden weitere Teile vor dem Glimmen getempert, um eventuelle Ausgasungen aufgrund der Temperaturerhöhung, auszuschließen. Sowohl die mit Gleichstrom als auch die mit Wechselstrom angeregten Polymere, führten zu keiner deutlichen Mangelbeseitigung. Deren Oberflächen zeigten sehr unterschiedliche Erscheinungsbilder, zum einen besaßen sie eine fehlerfreie Oberfläche, zum anderen zeigten sie starke Unebenheiten in Form von Bläschen und Kratern. Die Auffälligkeiten an den Unterseiten traten nur bei den experimentell behandelten Teilen auf. Vermutlich konnte aufgrund der Positionierung dort keine Aktivierung der Oberfläche stattfinden oder es kam zu einem Wärmestau.



**Abbildung 39: Positionierung der Vorderteile, Seitenansicht**



**Abbildung 40: Positionierung der Vorderteile; Draufsicht**

## **5.6 Lackmuster**

### **Berlac**

#### Versuch 1 (30% Verdünnung)

Bei der Testung des Haftprimers mit 30 % Verdünnung gab die Oberfläche eine verschwommene, wellige Struktur wieder und der veredelte Überzug wirkte trüb. Des Weiteren störten Benetzungsfehler bzw. Nadelstiche und kleine Pickelerscheinungen die Beschichtung.

#### Versuch 2 (50% Verdünnung)

Die Lackierung mit 50 %iger Verdünnung kommt den derzeitig verwendeten Grundlack von Berlac 2070e mit dem Ergebnis und Eigenschaften sehr nah. Der Primer präsentierte einen ausgezeichneten glatt-glänzenden Film, mit nur wenigen, vereinzelt (eventuell vertretbaren) Fehlererscheinungen. Das einzige Defizit ist, dass der Lack zu dickflüssig auf der Oberfläche wirkte, was bedeutet, dass er zu hochviskos war und ein weiterer Versuch mit 60% Verdünnung untersucht werden sollte.

Die zweite Halterung mit den 40 Verteilern sollte verdeutlichen, wie sich das Erscheinungsbild verhält wenn sich die Drehung der Spindelhalterung von Spritzgang zu Spritzgang ändert. Dabei kam man zu dem Ergebnis, dass die Artikel, die mit wechselnder Drehung lackiert wurden, schlechter aussahen. An ihnen zeigte sich ein verschwommenes Lackbild, ein unruhiger Film mit einer größeren Anzahl von Störungen auf der Oberfläche und Läufer an den Kanten.

#### Versuch 3 (75% Verdünnung)

Nach dem Versuch mit 50 %iger Verdünnung erhoffte man sich ein erfolgreiches Ergebnis. Dies war jedoch nicht der Fall. Die Lackierung mit einem Spritzgang zeigte eine relativ glatte Oberfläche, jedoch auch eine große Anzahl lochartiger Erscheinungen. Bei den Verteilern, welche mit zwei Spritzgängen grundiert wurden, wurden die Lochbildungen überlackiert und somit beseitigt, jedoch wies die Beschichtung dadurch eine wellige Struktur auf.



## **Mankiewicz**

Beide wasserlösliche Lackmuster von Mankiewicz brachten ungenügende Ergebnisse.

Das Laborprodukt LN 140.0008.3 zeigte auf der gesamten Fläche Benetzungsstörungen sowie Krater, Kocher und weitere diverse Erhebungen. Des Weiteren kennzeichnete sich bei beiden Proben eine leichte Trübung der Oberfläche ab. Versuch 1, mit 15 % Wasserzugabe, und Versuch 2, mit 25 % Wasserzugabe, verfügten über einen stark welligen Filmverlauf.

Der Filmverlauf des Decklackes 342-23 verhielt sich bei Probe 1, zu 5 % mit Wasser verdünnt, besser. Allerdings wurde dieser von sehr stark ausgeprägten Oberflächenfehlern beeinträchtigt. Bei Probe 2, 10% verdünnt, traten stark ausgebildete Benetzungsstörungen, in Form von Nadelstichen, sowie ein leicht welliger Filmverlauf auf. Analog zu den Laborproben, besaßen die Artikel auch diesmal eine Trübung.

Mit Hilfe der HighGloss- Clearcoat- Testreihen wurde erkenntlich, dass die Verwendung lösemittelhaltiger Lacke besser geeignet ist als Wasserlacke. Verteiler mit diesem Lackmuster verfügten über eine glatt-glänzende Beschichtung. Die gewünschten Ergebnisse konnten auch mit diesem Lack nicht erzielt werden. Erneut bildeten sich Benetzungsstörungen auf der gesamten Fläche, diverse Erhebungen sowie Läufer ab. Artikel, die mit zwei Spritzgängen lackiert wurden, besaßen ein schlechteres Erscheinungsbild als die Verteiler welche in einem Gang grundiert wurden. Man vermutet, dass zu schnell entweichende Lösemittel der Grund dafür sind, dass heißt das der Lack während dem ersten und dem zweiten Spritzgang bereits antrocknet.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Untersuchung der Fehlerverteilungen konnte keine Eingrenzung einzelner Bereiche beobachtet werden. Da die Störungen relativ gleichmäßig über das gesamte Bauteil verteilt auftreten, sind unzureichende Vorbehandlungen, aufsteigende Gasentwicklungen, Applikationen und Lackformulierungen als mögliche Ursachen heranzuziehen.

Nach ausführlichen Betrachtungen von Einflussfaktoren aus der Lackierkabine und der Analyse des derzeitigen Ist- Zustandes des Produktionsprozesses, sind keine Auffälligkeiten gefunden worden. Innerbetriebliche Ursachen sind somit weitestgehend für das Auftreten von Oberflächenstörungen auszuschließen.

Lediglich die Entdeckung des Rostes könnte zu einer Ursachenfindung beitragen. Allerdings wurden dazu bei der EDX- Analyse des Verteilers keine Spuren nachgewiesen. Bezüglich der Elementaranalyse der Start- Stop- Taste konnten ebenfalls keine konkreten Ergebnisse erzielt werden. Es sollte geklärt werden, ob die analysierten Elemente tatsächlich alle aus der Produktmatrix des Metalliclackes resultieren. Untersuchungen dieser Art sollten wiederholt werden um Vermutungen zu bestätigen oder ausschließen zu können.

Vermutlich werden diese „pickelartigen Erscheinungen“ von Luft- oder Gaseinschlüssen hervorgerufen, verursacht durch überhöhte Trockentemperaturen oder Ausgasungen des Lösemittels. Bei der Untersuchung der Ofenanlage wurde jedoch keine Auffälligkeit festgestellt. Eine Überprüfung der Luftgeschwindigkeit des Ofens konnte nicht durchgeführt werden, da die dazu notwendigen Messgeräte nicht vorhanden sind. Unangepasstes Lösemittel gegenüber dem Kunststoff bzw., Lösemitteleinschlüsse im Grundlack, können ebenfalls als Fehlerursache ausgeschlossen werden, da der Grundlack ohne Hinzugabe von Lösemittel aufgetragen wird. Des Weiteren wurden auf den Objektträgern die gleiche Art und dieselbe Menge an Imperfektionen, wie auf den PC- Mustern, festgestellt.

Nach Untersuchung zahlreicher Faktoren ist weder eine signifikante Abfolge des Auftretens von Fehlererscheinungen erkennbar, noch führten umfangreiche Untersuchungen und Versuche zu positiveren Ergebnissen.

Das Auftreten der Fehlererscheinungen der Beschichtungen unterliegt dem Zufallsprinzip, sodass ich davon überzeugt bin, dass trotz der verwendeten Filtermedien, die Ursache auf Flüssigkeitstropfen der Hochdruck- Spritzanlage zurückzuführen ist. Vermutlich kondensiert die Druckluft beim Austritt der Spritzpistole an der Düse und die dabei abgeschiedene Feuchtigkeit gelangt mit auf die zu beschichtenden Teile und verursacht dadurch Blasen, Krater oder Löcher.

Mit der Lackierung des Primers aus dem Hause Berlac, erhoffte man sich größere Erfolge. Die Lackierung mit 50% Verdünnung wies auf gute Aussichten, jedoch kam es nach dem Versuch mit 75% Verdünnung zu einem Misserfolg. Der Kontakt mit verschiedenen Lackherstellern sollte aufrecht erhalten bleiben, sodass weiterhin Probebeschichtungen durchgeführt werden. In Zukunft sollten diese für Musterbeschichtungen unbedingt für qualitative Bewertungen dokumentiert werden.

Des Weiteren müssen die Mitarbeiter die Eintragungen des Intranets ernst nehmen. So sind z. B. Bemerkungen über erhöhte Luftfeuchten, das Wechseln der Filter bzw. Lackes oder Auffälligkeiten innerhalb einer Charge zu notieren. Diese sind anschließend zu monatlichen Auswertungen zusammenzufassen und können bei weiteren Ermittlungen auf eventuelle Rückschlüsse der Ursache beitragen.

Nach literarischen Angaben wurden alle theoretischen Ursachen untersucht. Für die Zukunft sollten weitere praktische Anwendungsversuche durchgeführt werden. Außerdem sollte man eine Umrüstung der Applikationsgeräte überdenken.

## **Anhang**

### **Anlagenverzeichnis**

<b>Anlage 1: Nachkalkulation der Verteiler von 02.06. - 28.08.2009 .....</b>	<b>77</b>
<b>Anlage 2: Analyse der Fehlerbereiche von 55 Verteilern (090826) .....</b>	<b>80</b>
<b>Anlage 3: Dokumentation Lackkabine 1 .....</b>	<b>81</b>
<b>Anlage 4: Stereomikroskopie der grundlackierten PC- Muster .....</b>	<b>83</b>
<b>Anlage 5: Mikroschliff der Start- Stop- Taste .....</b>	<b>84</b>
<b>Anlage 6: Mikroschliff des Verteilers .....</b>	<b>87</b>
<b>Anlage 7: Mikroschliff des Kugelschreibers.....</b>	<b>91</b>
<b>Anlage 8: EDX- Analyse, Teil 1 .....</b>	<b>95</b>
<b>Anlage 9: EDX- Analyse, Teil 2 .....</b>	<b>98</b>
<b>Anlage 10: Dokumentation über Lackierung der gereinigten Verteiler ....</b>	<b>100</b>
<b>Anlage 11: Fehlerbildverteilung der Waschung (09082801).....</b>	<b>101</b>
<b>Anlage 12: Nachweis der gemessenen Objekttemperatur .....</b>	<b>103</b>

## Anlage 1: Nachkalkulation der Verteiler von 02.06. - 28.08.2009

Stückzahl : 15198 [n]

Gutteile : 8451 [n]

Ausschuss : 6747 [n]

Ausschuss : 44,39 [%]

(durchschnittlich)

Einkaufspreis: 0,4155 €/Stck.

Verkaufspreis: 1,7396 €/Stck.

Bestückzeit [h]	67,67
Abstückzeit [h]	48,25
Summe	115,92 h
Lack 1 [h]	39,67
Lack 1 Menge [kg]	104,5
Lack 2 [h]	23,25
Lack 2 Menge[kg]	31,8
Summe	62,92 h
EK [h]	77,17 h

### Materialeinzelkosten

- Rohteilkosten: 6314,77 €
- Lackkosten:

**Lack 1** Grundlack „Durodur 2070e“ : 10,40 €/kg

Härter „M 5409“ : 6,50 €/kg

Mischungsverhältnis Lack/ Härter: 10:4

Lack:	Härter
74,6 kg	29,86 kg
10,40 €/kg	6,50 €/kg
<b>775,85 €</b>	<b>194,09€</b>

**Lack 2** Decklack „Berlacryl KLarlack“ : 25,47 €/kg

Härter 042.900.080 : 11,34 €/kg

Verdünnung 043.000.000 : 5,17 €/kg

Mischungsverhältnis Lack/ Härter : 5:1

Mischungsverhältnis Lack/Verdünnung: 4:3

Lack	Härter	Verdünnung.
15,14 kg	5,3 kg	11,35 kg
25,47 €/kg	11,34 €/kg	5,17 €/kg
<b>385,61 €</b>	<b>60,10 €</b>	<b>58,70 €</b>

Grundlackierung:	969,94 €
Decklackierung	504,41 €
	<b><u>1474,35 €</u></b>

- Bedampfungsmaterial

Al- Deko- Coil:

Pro Lauf: 8 Halter a' 22 Verteiler = **176** → \*2→ 352 (1 Charge)

10 Wendeln a 2\*Al= 20 Al Deko Coils

15198/ 176= 86,35 Läufe \*20 Al Coil= 1727 Coils

1727 Coil \* 0,000425 €/Coil= 0,73€

Al- Wedel Höcker:

Pro Lauf: 8 Halter a 22 Verteiler (176) → 10 Wendeln

10 Wendeln → 10 Läufe → 1760 Verteiler

15198 Verteiler/ 1760 Verteiler = 8,6 → 9

9\* 10 Wendeln= 90 Wendeln \* 0,56 €/ Wendel= 50,40 €

51,13 €

Summe Materialkosten:

Lackkosten : 1474,35 €

Bedampfungskosten: 51,13 €

1525,48 €

### Fertigungseinzelkosten

PKS Bestücker	10,24 €/Std
PKS Lackierer	13,82 €/Std
Fertigungsgemeinkosten	16,53 €/Std
Verwaltungsgemeinkosten	7,02 €/Std
Maschinenstundensatz Lack 1	5,18 €/Std
Hochvakuumbedampfungsanlage	6,86 €/Std
<b>Deckungssatz</b>	
Bestücker	33,77 €/h
Lackierer	42,52 €/h
Endkontrolle	33,77 €/h

• Bestückung: 115,92h \* 33,77 €/h = 3914,62 €

• Lackierung: 62,91h \* 49,38 €/h = 3106,50 €

• Endkontrolle 77,17h \* 33,77 €/h = 2606,03 €

9627,15 €

Rohteileinkauf	6.314,77 €
Materialkosten:	1.525,48 €
Fertigungseinzelkosten	9.627,15 €
<b>Summe Herstellkosten</b>	<b>17.467,40 €</b>

- Verkaufspreis bezogen auf Herstellkosten und Ausschuss:  
 $17.467,40 \text{ €} / 8451 \text{ (Gutteile)} = 2,07 \text{ €/ Stck.}$
- Verlustgeschäft:  
 $1,7396 \text{ €/Stck.} - 2,07 \text{ €/Stck.} = - 0,33 \text{ €/Stck.}$
- Break- even- Point :  
 $17.467,40 \text{ €} / 1,7396 \text{ €/ Stck.} = 10.041 \text{ Gutteile}$   
 $15.198 - 10.041 = 5157 \text{ Ausschuss (33,9\%)}$
- Senkung der Ausschussquote um 10,49 %

## Anlage 2: Analyse der Fehlerbereiche von 55 Verteilern (090826)

links		mitte		rechts	
Fussel	3	Loch	10	Spritz- nebel	2
schwarzes Loch/ Benetzung	3	Abset- zung	8	Benetzung	1
Loch	2	Nadel- stiche	2	Absetzung	3
Lackläufer	5			Krater	1
unsauberer Übergang (oben)	5			Loch	2
				schwarzes Loch	1



## Anlage 3: Dokumentation Lackkabine 1

Artikel	Mat-erial	Charge	Raum- temp. [°C]	Luft- feuchte [%]	Glimmen [min]	Dauer: Glimmen- Lack [min]	Vorbe- handlung	Lack-system	Her- steller	Bedamp- fung	Spritz- gänge	Druck [bar]	Stück- zahl	Aus- schuss [n]	Aus- schuss [%]	Fehlerart EK	Bemerkung	Abdunst- zeit	Trocken- zeit Ofen	Ofentem- peratur
Oberteil	ABS	a 09070303	23,8; 23,8; 24,2; 24,5	70,2; 70,7; 69,5; 68,3	10	5-10	abputzen	Deko (GL: Durodur; DL: Berlacyl) 9,9	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL:2 ; LL:1	3,8	1160	465	40,0862	Pickel, Fussel	Lackierer:Sven Pegatski ; Tür geschlossen ; RT: Poren, Kratzer	2 Std	65	
Vorderteil	ABS	a 09070304	analog	analog	analog	analog	analog	analog	analog	analog	GL:2 ; LL:2	3,8	1056	489	46,3068	Pickel, stellenweise ohne oder zu dünnr Lack, Benetzung	analog 09070303	analog 09070303	analog 09070303	
Verteiler	ABS	a 09070301	23,6; 23,9	70,9; 69,9	5-10	5-10	abblasen	Deko (GL: Durodur; DL: Berlacyl) 9,9	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL:3-4	3,8	640	315	49,2188	Pickel, Benetzung, Orangenhaut	Lackierer:Sven Pegatski ; Tür geschlossen ;	1Std 15min	75	
Start-Stop Taste	PC(?)	b 09070301	26,5; 26,6; 23,7	76; 76; 77	/	/	ionisieren	2K-Lack	Nordvst Chemie	/	2 (Edelstahl) )-4		1724				Einkaufteil (2009-07-02), Tür leicht offen, Klimate an->starker Lüftung an Tür ; GL: leichter Staub auf Lackschicht			
Verteiler	ABS	a 09070701	24,6; 24,4; 24,5; 25,6; 26,4; 27	60,5; 61,3; 60; 56; 53; 57	6	15	ionisieren + abputzen	Deko (GL: Durodur; DL: Berlacyl) 9,9	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL: 3 ; LL: 2	3,5	640	298	46,5625	Pickel, Benetzung, Orangenhaut	Lackierer: Jens Schneider abbläsen vieler Stopfel ; Rohreiltast staubfrei, glattglänzende Ao, schimmernde weiße Pünktchen im Kunststoff ; GL: vereinzelte wenige Fehler(helle Körnchen/Fussel) schöner Lackverlauf, ungleichmäßiger fehlerverlauf- > zum Ende aber weniger, Staub auf Rohrteilen entspricht nicht dem Fehlerbild nach GL ; Bed: kleine weiße Pünktchen '1,2', mittl. große Pickel '12', Fussel '3', Vertiefungen '4', Fehler mit und ohne schwarzer Umgebung	1Std 35min	78	
Oberteil	ABS	a 09070704	27,4; 28,1; 28,4	50,6; 48; 47,4	10	30	ionisieren + abputzen	Deko (GL: Durodur; DL: Berlacyl) 9,9	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL: 2 ; LL: 1	3,5	jeweils 1160	704	60,69	OT: Lack, Fussel, Be- netzung, Pickel, teilw. fehlender Lack	Rohrteil, gleiche Ao wie Verteiler, glattglänzend/silbriger Schimmer, fast staubfrei, hellere Erscheinungen, teilw. Verlaufen ; GL: sehr kleine Erhöhungen (pickelartig) ; Ofen: wenige kleine Pünktchen ; Bed: kleine schwarze Pünktchen auf Bedampfung (1/10mm) '1,2' ; Fussel '1' ; Vertiefungen '2' ;	1Std 35min ; 2 Std	69	
Vorderteil	ABS	a 09070705	27,4; 28,1; 28,4	50,6; 48; 47,4	analog	analog	analog	analog	analog	analog	analog	analog	1160	421	36,2931	analog 09070704	analog 09070704	analog 09070704	analog 09070704	

# Anhang

Artikel	Material	Charge	Raumtemp. [°C]	Luftfeuchte [%]	Glimmen [min]	Dauer: Glimmen-Lack [min]	Vorbehandlung	Lacksystem	Hersteller	Bedampfung	Spritzgänge	Druck [bar]	Stückzahl	Ausschuss [n]	Ausschuss [%]	Fehlerart EK	Bemerkung	Abdunstzeit	Trockenzeit Ofen	Ofentemperatur
Oberteil	ABS	a 09070906	23,3; 22,7	53,3; 54	10	20-30	ionisieren	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL-2 : Lt1 (mit Drehung)	4	1160	501	43,1897	viele große Pickel, Orangerhaut	Lackierer: Jens Schneider. Tür geschlossen RT: glatt, glänzend; Silberschimmer, mit Lupe sehr leichter weißer Staubfilm, sehr wenige Kunststoffeiler (keine Pickel, Einkerbungen, Kunststoffverlauf unter Einsatz) unterschiedliche Absetzungen von Silberschimmer GL: schönes Lackbild, Absetzungen v. Lack bei Kunststofffehlern (Pickel, Einkerbungen), dunkler Punkt auf Lack; Bed: kleine bis mittelgroße Pickel, Fussel	<20min	1Std 20min	(blau)
Vorderteil		a 09070907	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	1160	708	61,0345	große Pickel, Orangerhaut	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906	analog 09010906
Verteiler	ABS	a 09070901	23,3; 23,3	52,6; 57	6	15-25	ionisieren +abpusten (später)	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL-3 (mit Richtungs änderung) ; Lt2 (ohne Drehung)	5	640	298	46,5625	Pickel, Benetzung	Lackierer: Jens Schneider. Tür geschlossen, Düsen m. LM+Pinzel gereinigt+ abgepusht; RT: sehr glatt, glänzend; leichter bis starker Staubfilm; GL: pickelartige Absetzungen, Vertiefungen, öfters 2 und mehr Partikel zusammen in einem Bereich, rote transparente Kugeln (= GL)	<60min	2 Std 20min	76
Verteiler	ABS	a 09071301	24,7; 27,2; 27,3	63; 63; 62	6		ionisieren	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL-3-4; ; Lt:0	4	640	366	57,1875	viele große Pickel, Benetzung g. usw.	Lackierer: Sven Pagatski; Lackierung in Kabine b; Tür leicht geöffnet; öfters reinigen der Düsen; starker Nebelbildung; RT: vereinzelt weißer Staub, Krater, mit Lupe kleine Löcher und Pickel; GL: viele Pickel+Vertiefungen, vereinzelt Fussel, Orangerhautbildung	50-3min; 60-30min	2Std	77 (grau) 70(blau)
Oberteil	ABS	a 09071404	28,8; 28,6	67; 64	6min	5-10	abpusten	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL-2 : Lt1 (m.D.)	3,5	jeweils 1160	475	40,9483	Pickel	Lackierer: Sven Pagatski; Kabine b; Tür geschlossen RT: weiße Absetzungen (nur Staub? auch Pustelartig), teilw. Einkerbungen/Krater; GL: gutes Lackbild	1 Std 35- 25min	1Std 30	erst 60(Kb) dann 76 (Ka, grau)
Vorderteil	ABS	a 09071405	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	487	41,9828	große Pickel	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404	analog 09071404
Verteiler	ABS	a 09071501	23,3; 24,4; 25,8	69,6; 63,4; 61,1	6	5	abpusten	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL-3	3,5	620	200	34,4828	Pickel, Benetzung	Lackierer: Sven Pagatski; Tür geschlossen; schließt Druck-Luftventil; RT: teilw. Starke weiße Staubschicht, Fussel; GL: wenige keine weiße Punkte, Luftblase, gutes Bild	25-1 min; 55-3min	1 Std 40min 1Std 55min	68 (grau) 76(blau)
Oberteil	ABS	a 09071604	28,3	64,0	6	10-15	abpusten	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL-2 : Lt1 (o.D.)	3,8	jeweils 1160	477	41,1207		Lackierer: Sven Pagatski; Kabine b; Tür geschlossen; RT: lose helle Absetzungen (schlecht erkennbar)	45-5 min	2 Std	65
Vorderteile	ABS	a 09071605	analog 09071604	64,0	6	5-10	abpusten	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Ni-Cr	GL-2 : Lt1 (o.D.)	3,8	1160	575	49,569		Lackierer: Sven Pagatski; Kabine b; Tür geschlossen; RT: lose helle Absetzungen (schlecht erkennbar)	45-5 min	2 Std	65
Verteiler	ABS	a 09071701	26,3	52,1	6	5-10	abpusten	Deko (GL-Durodur; DL: Berlacryl) 9,9.	GL-Mäder 2070e DL-Berlac	Al	GL-3;	3,5	620	277	44,6774		Lackierer: Sven Pagatski; Tür geschlossen; RT: Einkerbungen, weißer Staub; GL: liegend gelagert, sehr schönes Lackbild(!)	40-5 min; 25-5 min	1 Std 30min (grau); ...	80; 77

## Anlage 4: Stereomikroskopie der grundlackierten PC- Muster

Hochschule Mittweida (FH)  
University of Applied Sciences



### Anlage Beschichtungsfehler Musterbauteil

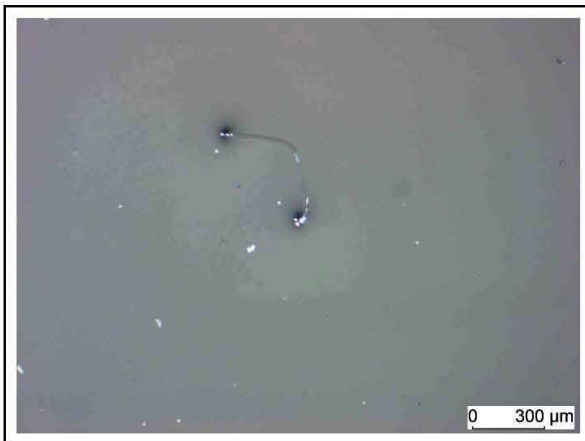


Bild 1: Muster – PC mit Grundlack

Fehler 1

SZH10 Zoom 5; Color View II;  
analysis; ImageC



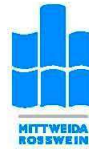
Bild 2: Muster – PC mit Grundlack

Fehler 2

SZH10 Zoom 5; Color View II;  
analysis; ImageC

## Anlage 5: Mikroschliff der Start- Stop- Taste

Hochschule Mittweida (FH)  
University of Applied Sciences



### Anlage Beschichtungsfehler Bauteil Start-Stop-Taste

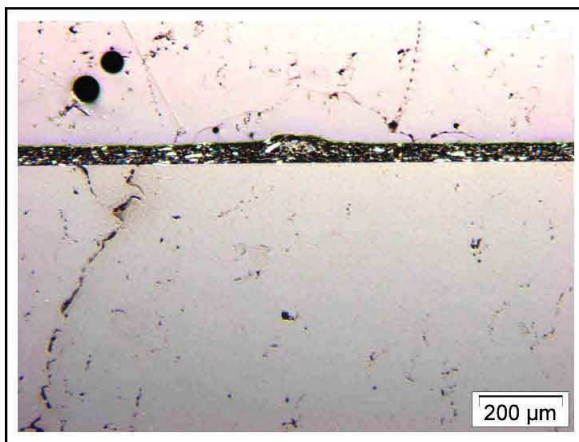


Bild 1: Bauteil 1 – Ansicht 1

PMG3 Obj.5x/0,13; Color View II;  
analySIS

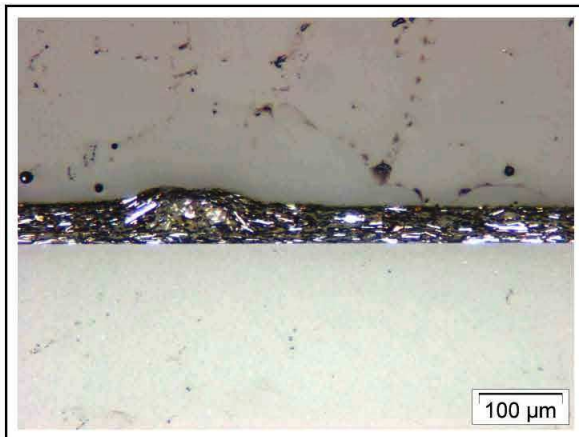


Bild 2: Bauteil 1 – Ansicht 2

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

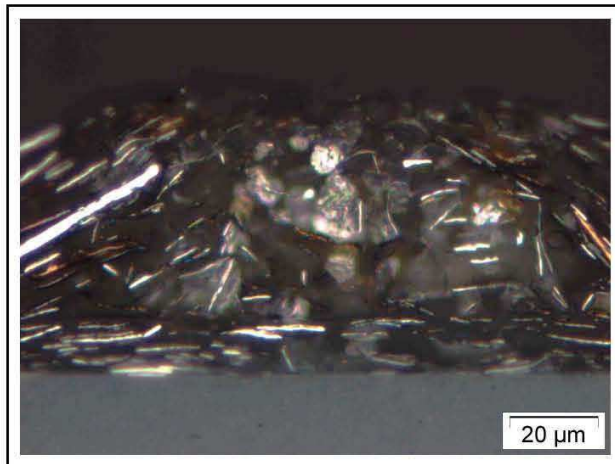


Bild 3: Bauteil 1 – Ansicht 3

PMG3 Obj,50x/0,70; Color View II;  
analySIS

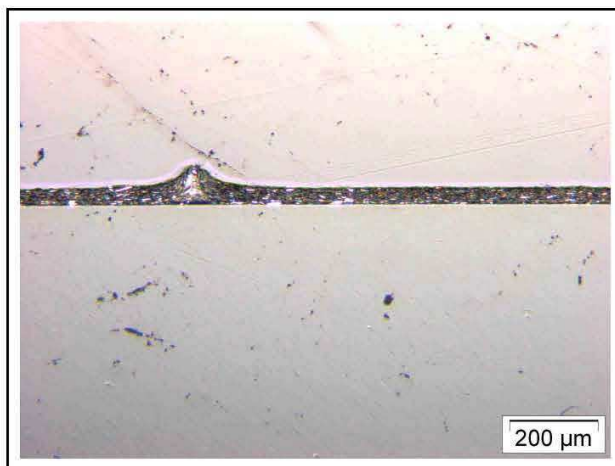


Bild 4: Bauteil 2 – Ansicht 1

PMG3 Obj,5x/0,13; Color View II;  
analySIS

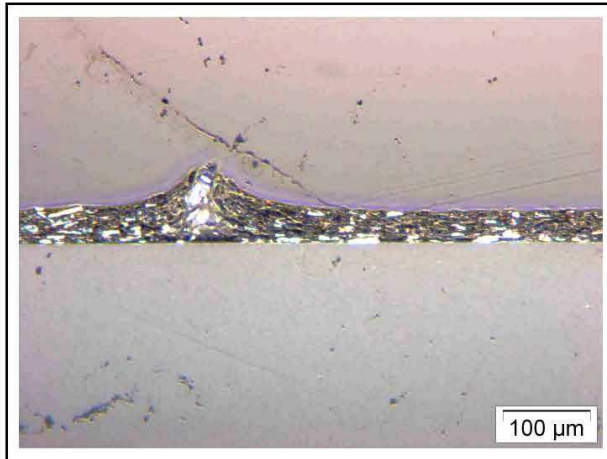


Bild 5: Bauteil 2 – Ansicht 2

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

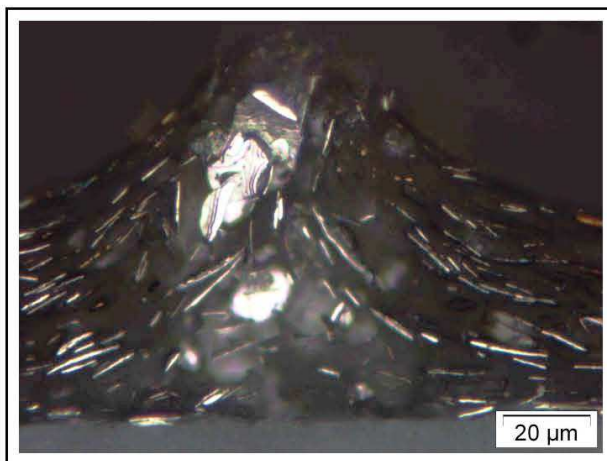


Bild 6: Bauteil 2 – Ansicht 3

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS



## Anlage 6: Mikroschliff des Verteilers

### Anlage Beschichtungsfehler Bauteil Verteiler

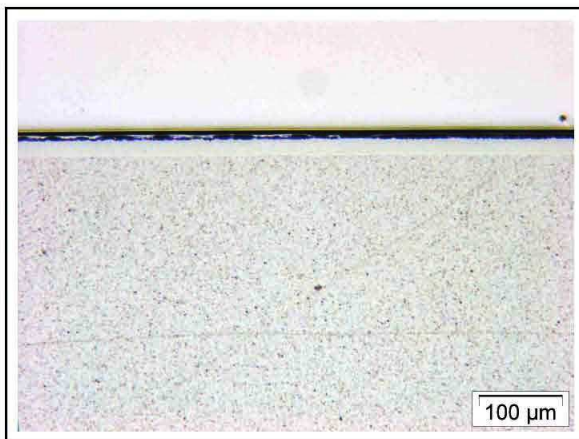


Bild 1: Bauteil 1 – Übersicht

iO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

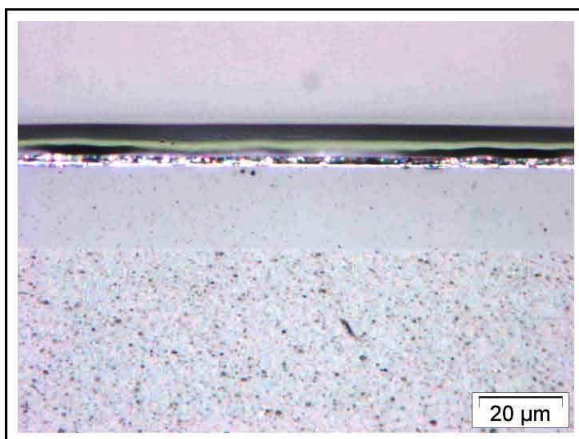


Bild 2: Bauteil 1 – Detail

iO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

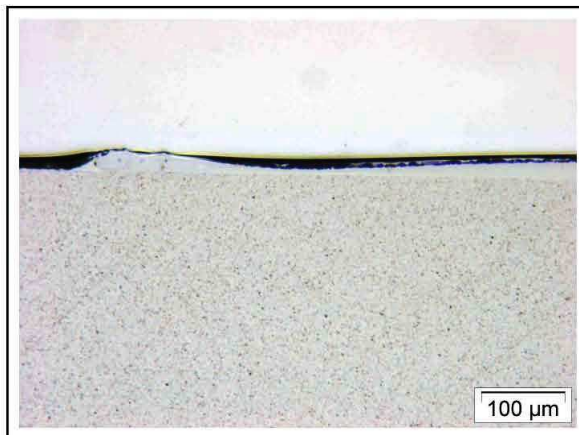


Bild 3: Bauteil 1 – Übersicht

niO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

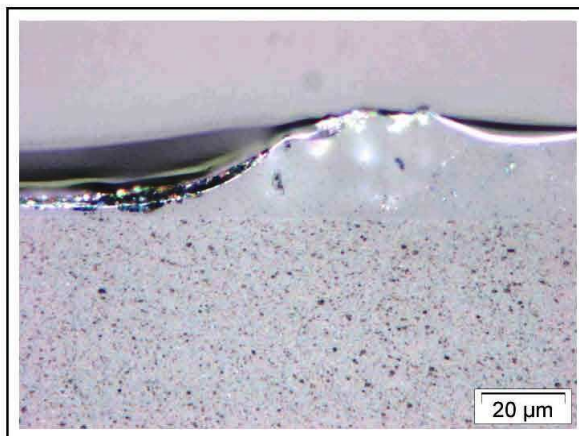


Bild 4: Bauteil 1 – Detail

niO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS



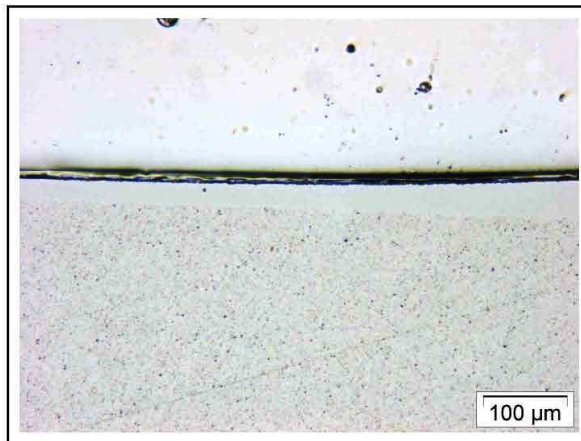


Bild 5: Bauteil 2 – Übersicht

iO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

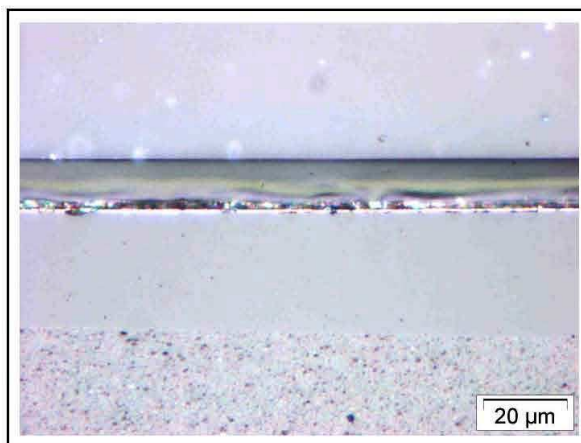


Bild 6: Bauteil 2 – Detail

iO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

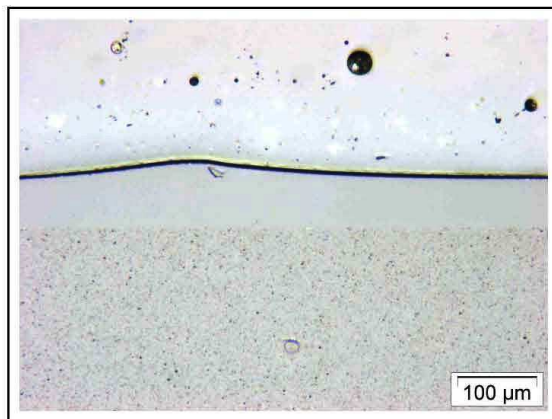


Bild 7: Bauteil 2 – Übersicht

niO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

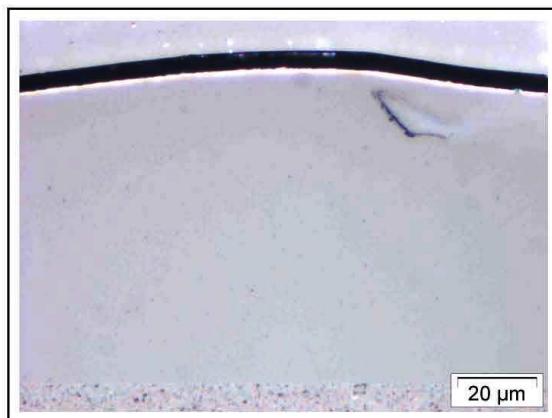


Bild 8: Bauteil 2 – Detail

niO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

## Anlage 7: Mikroschliff des Kugelschreibers

### Anlage Beschichtungsfehler Bauteil Kugelschreiber

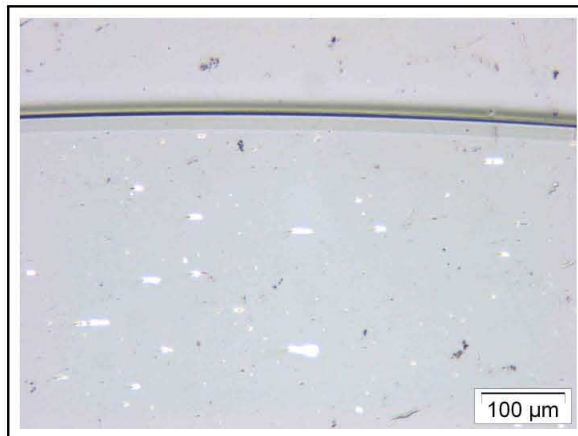


Bild 1: Bauteil 1 – Übersicht

iO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

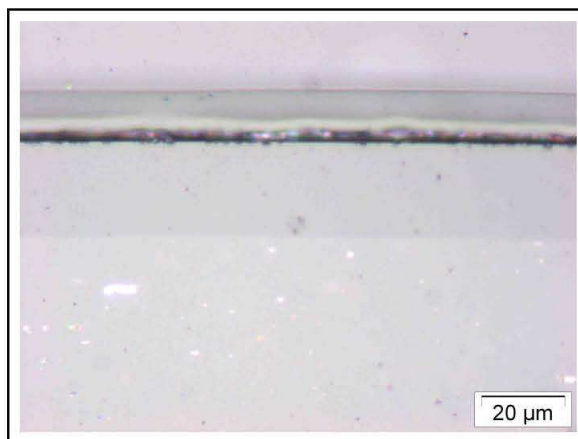


Bild 2: Bauteil 1 – Detail

iO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

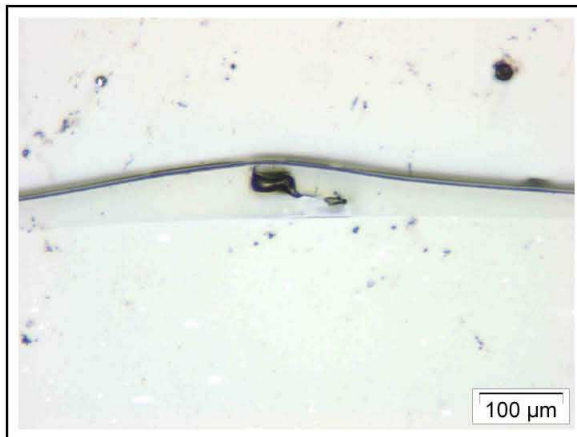


Bild 3: Bauteil 1 – Übersicht

niO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

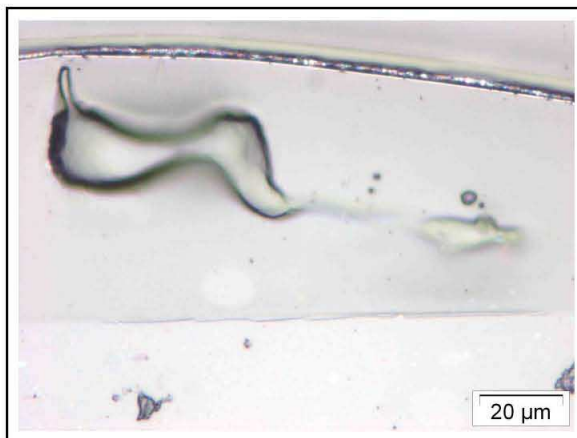


Bild 4: Bauteil 1 – Detail

niO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

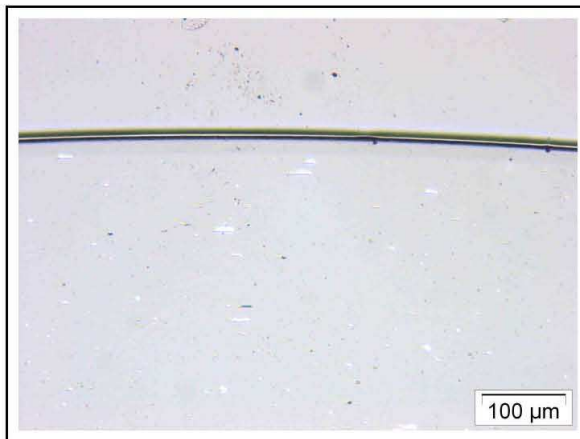


Bild 5: Bauteil 2 – Übersicht

iO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

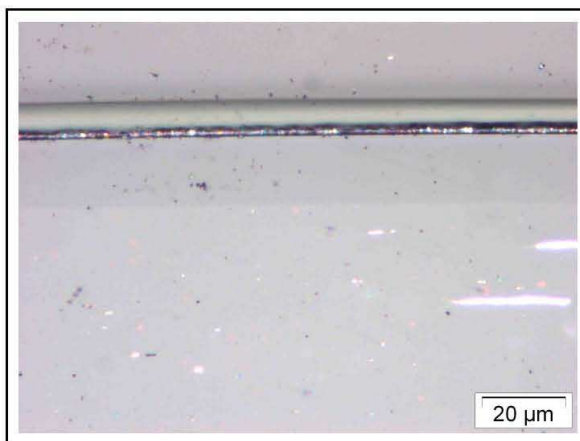


Bild 6: Bauteil 2 – Detail

iO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

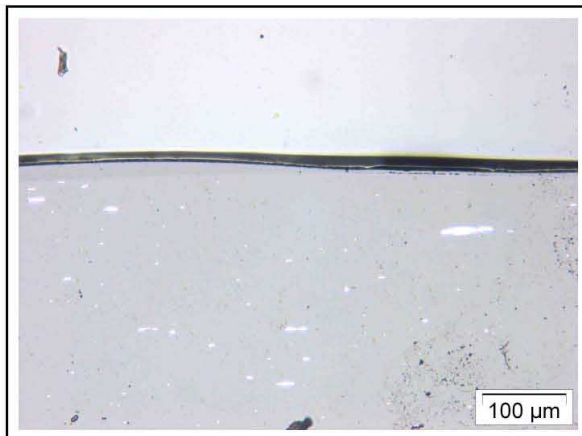


Bild 7: Bauteil 2 – Übersicht

niO-Bereich

PMG3 Obj.10x/0,25; Color View II;  
analySIS

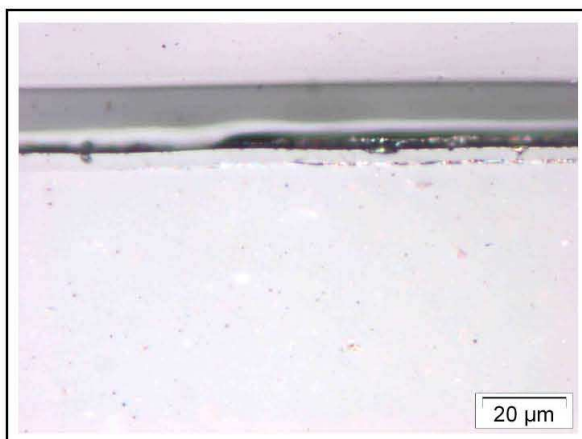


Bild 8: Bauteil 2 – Detail

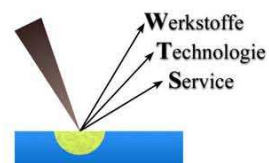
niO-Bereich

PMG3 Obj.50x/0,70; Color View II;  
analySIS

## Anlage 8: EDX- Analyse, Teil 1

WTS IngenieurBüro Dr. Müller  
Seifersbach, Nordstr. 17  
09661 Rossau

Telefon: +49 3727 648474  
Telefax: +49 3727 648475  
E-Mail: info@wts-ibmueller.de  
www.wts-ibmueller.de



Auftraggeber: Christin Streubel (WI05w1)			Lfd. Nr.: 317-09
Probenbezeichnung: Bauteil Start Stop-Taste; Bauteil Verteiler			Verfahren: REM/EDX Betriebsmodus: VP
Wst.-Nr.: –	Wst.-Norm.: –	Probenanzahl: 2	Bearbeiter: Ge
Wst.-Name: –			Datum: 06.08.2009

	Bauteil Start Stop-Taste					Bauteil Verteiler	
	EDX 1 <sup>a)</sup>	EDX 2 <sup>a)</sup>	EDX 3 <sup>a)</sup>	EDX 4 <sup>a)</sup>	EDX 5 <sup>a)</sup>	EDX 6 <sup>b)</sup>	EDX 7 <sup>b)</sup>
<b>C</b>	31,67	50,46	34,56	40,26	54,59	61,05	72,51
<b>N</b>	–	–	–	–	–	13,78	27,49
<b>O</b>	11,74	23,55	45,32	14,29	18,36	25,17	–
<b>Mg</b>	1,49	–	8,69	1,24	–	–	–
<b>Al</b>	2,36	25,20	5,70	3,25	26,00	–	–
<b>Si</b>	2,16	0,79	4,88	1,87	1,05	–	–
<b>Fe</b>	–	–	0,85	–	–	–	–
<b>Cu</b>	37,97	–	–	34,39	–	–	–
<b>Zn</b>	12,61	–	–	4,70	–	–	–

Tab. 1: EDX-Analysen (wt%)

a) Punktanalyse;  $E_0 = 19 \text{ kV}$

b) Punktanalyse;  $E_0 = 12 \text{ kV}$



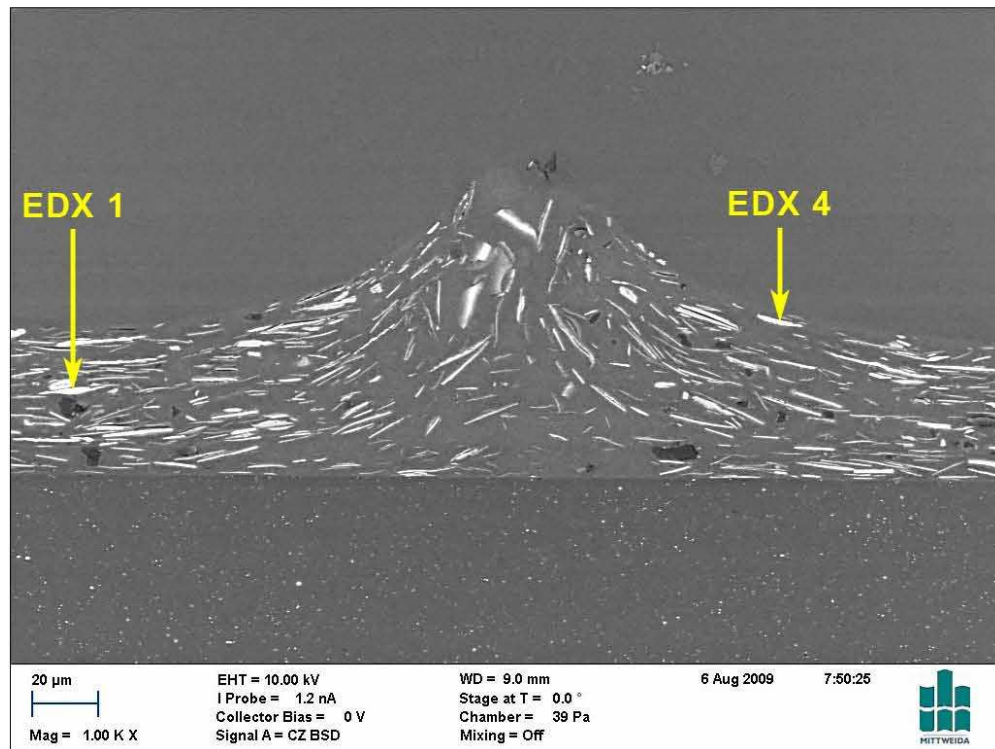


Bild 1: Beschichtungsfehler Bauteil Start|Stop-Taste (1 000 x; BSE-Compo) → EDX 1, 4/Tab. 1

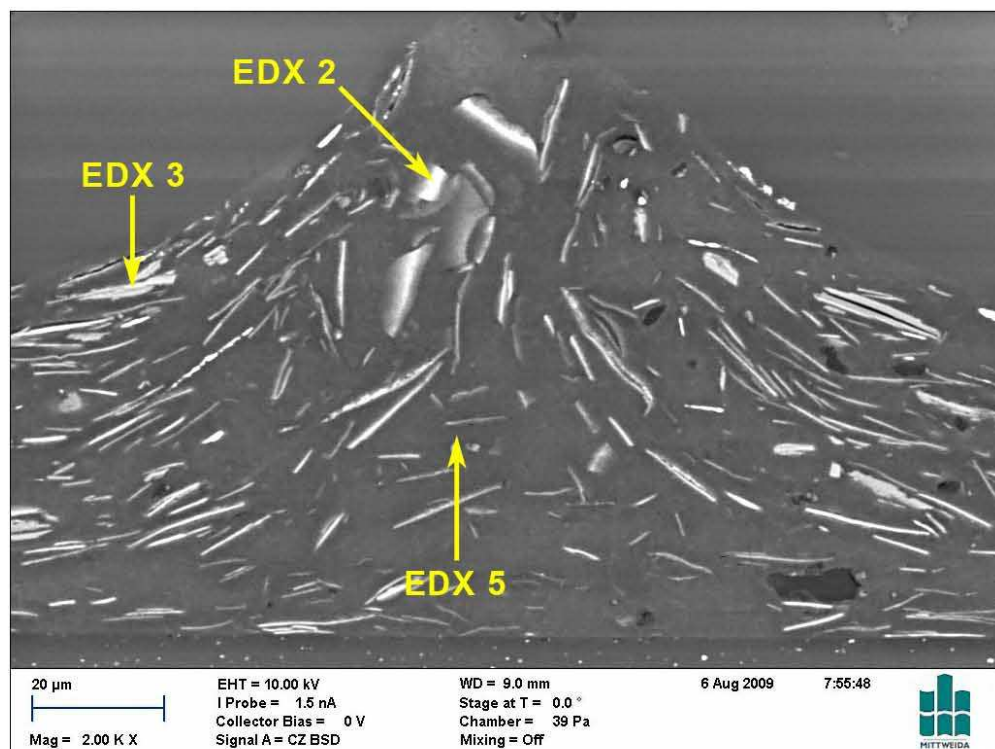


Bild 2: Beschichtungsfehler Bauteil Start|Stop-Taste (2 000 x; BSE-Compo) → EDX 2, 3, 5/Tab. 1



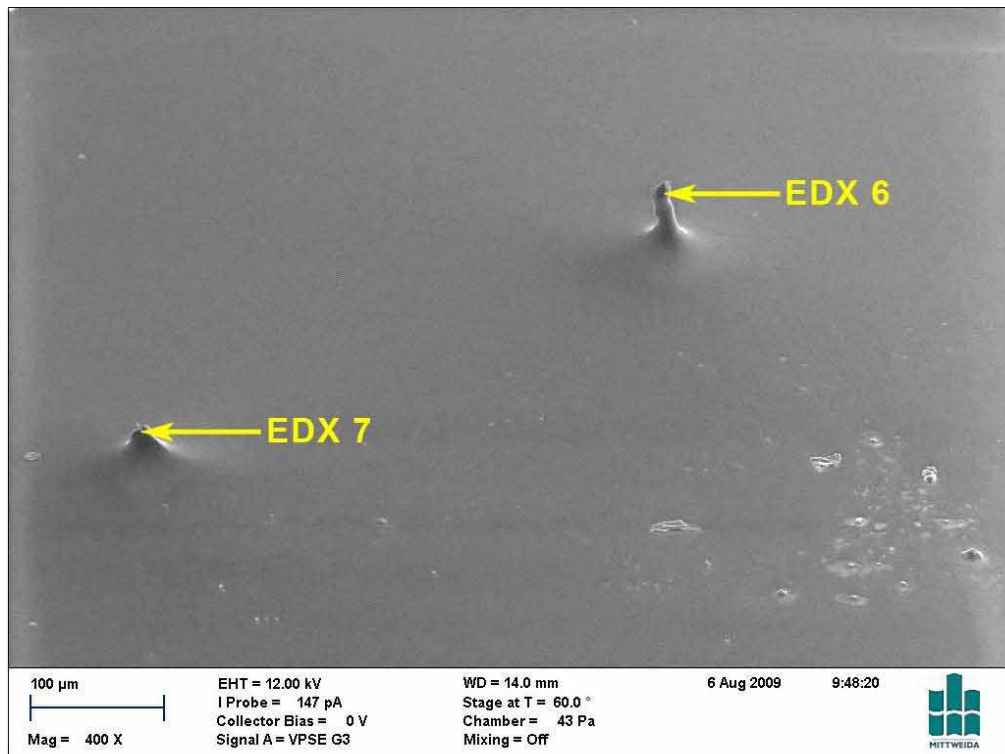


Bild 3: Beschichtungsfehler Bauteil Verteiler (400 x) → EDX 6, 7/Tab. 1

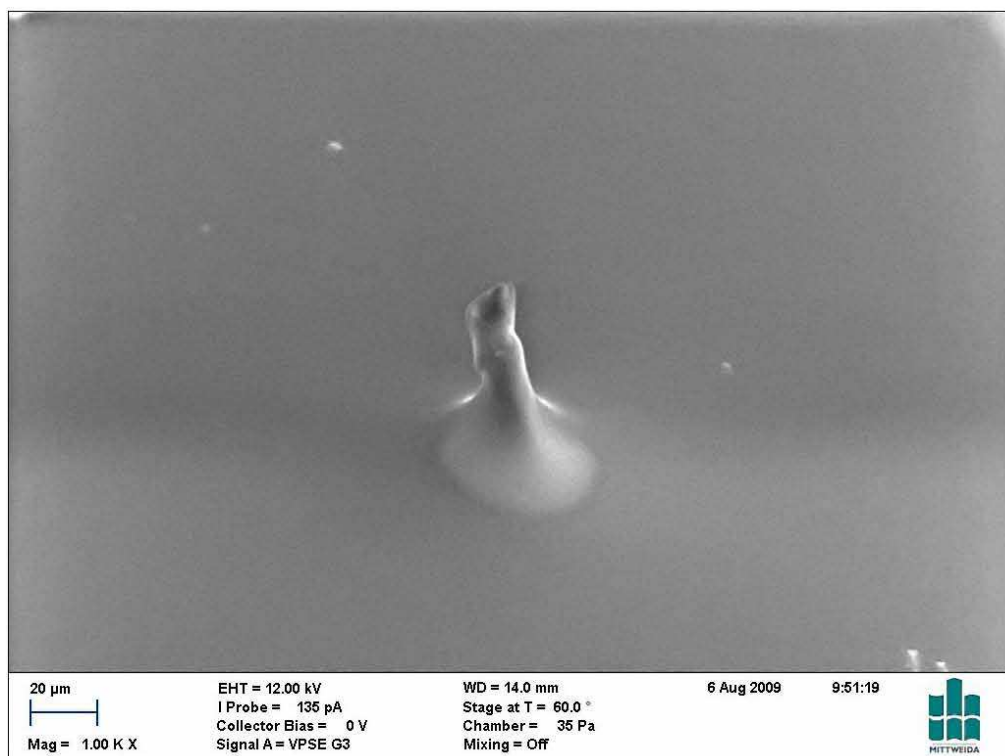
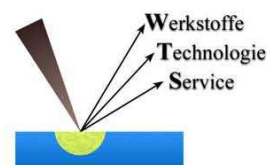


Bild 4: Vergrößerung aus Bild 3 (1000 x)

## Anlage 9: EDX- Analyse, Teil 2

WTS IngenieurBüro Dr. Müller  
Seifersbach, Nordstr. 17  
09661 Rossau

Telefon: +49 3727 648474  
Telefax: +49 3727 648475  
E-Mail: info@wts-ibmueller.de  
www.wts-ibmueller.de

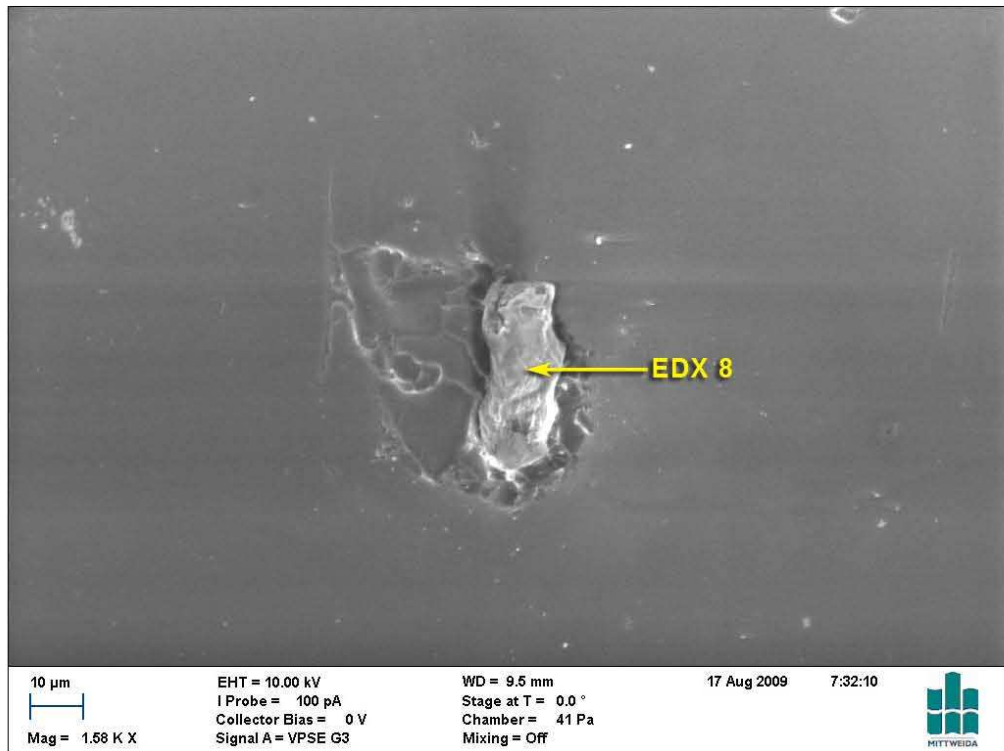


Auftraggeber: Christin Streubel (WI05w1)			Lfd. Nr.: 317-09
Probenbezeichnung: Bauteil Verteiler (Dokumentation 2)			Verfahren: REM/EDX Betriebsmodus: VP
Wst.-Nr.: –	Wst.-Norm: –	Probenanzahl: 1	Bearbeiter: Ge
Wst.-Name: –			Datum: 19.08.2009

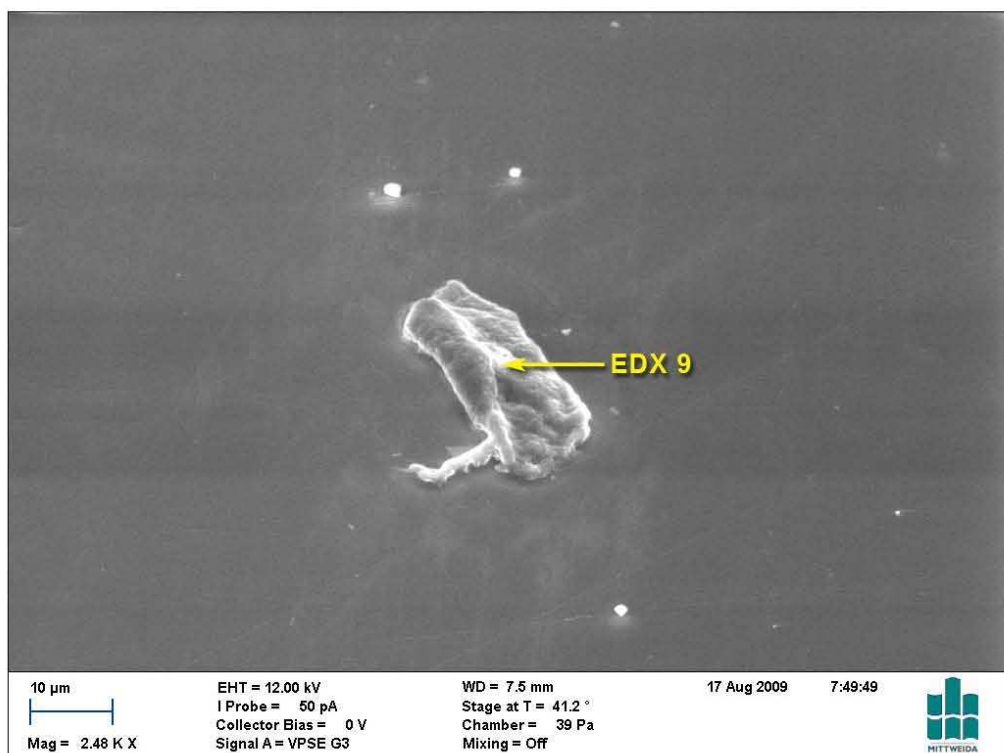
	Bauteil Verteiler	
	EDX 8 <sup>a)</sup>	EDX 9 <sup>a)</sup>
<b>C</b>	60,03	60,72
<b>N</b>	16,51	–
<b>O</b>	23,46	35,35
<b>Na</b>	–	1,38
<b>S</b>	–	0,44
<b>Cl</b>	–	1,19
<b>K</b>	–	0,92

Tab. 2: EDX-Analysen (wt%)

a) Punktanalyse;  $E_0 = 12 \text{ kV}$



**Bild 5:** Beschichtungsfehler Bauteil Verteiler (1580 x) → EDX 8/Tab. 2



**Bild 6:** Beschichtungsfehler Bauteil Verteiler (2480 x) → EDX 9/Tab. 2

## Anlage 10: Dokumentation über Lackierung der gereinigten Verteiler

	Gewaschen 0908280	Ungewaschen 0908280
<b>Grundlack</b>		
Uhrzeit	6:40 6:53 7:10	6:25 7:15
Raumtemperatur	23,9° 23,6° 23,3°	24,2° 23,7°
Luftfeuchte	65% 66,3% 66%	64,7% 65,8%
Zeit: Glimmen	10 min	10 min
Zeit: Glimmen→Lackieren	5 – 10 min	5 – 10 min
Vorbehandlung	Abblasen+ Ionisieren	Abblasen+ Ionisieren
Spritzgänge / Leerläufe	4 4(ohne Drehung)	4 4 (ohne Drehung)
Schichtdicke GL	38,6 µm	39,7 µm
Druck	4 bar	4 bar
Abdunstzeit	1 Std. 35 min - 40min	1 Std. 20 min – 40 min
Trockenzeit Ofen	1 Std. 15min	1 Std. 15min
Temperatur Ofen	72°C	72°C
Bemerkungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boden stark benässt,</li> <li>- im leeren Lackeimer befanden sich Absetzungen,</li> <li>- 1.Reihe Herdwagen: Fehler meist rechts</li> <li>- Spritzanlage fuhr von rechts an</li> <li>- 2. Reihe: immer weniger bzw. kleinere Fehler</li> <li>- ungewaschene besser?</li> <li>- Ofentemperatur: Temperatur oben re [77-82], unten li [60-65,6°C]</li> </ul>	
Schichtdicke GL	8,5µm	8,5µm
<b>Decklack</b>		
Uhrzeit	13:50 14:10	13:52 14:10
Raumtemperatur	32° 31,8°	

## Anhang

Luftfeuchte	42% 42,3%	42,7% 42,3%
Vorbehandlung	Abblasen	Abblasenn
Spritzgänge	1	1
Druck	4 bar	4 bar
Abdunstzeit	20min - 1 min	20min - 1 min
Trockenzeit Ofen	Ca. 20 min	Ca. 20 min
Temperatur Ofen	41°	41°
Bemerkungen	- Decklack durch Fließbecher (Anlage fehlt dazu o. man findet Lack der sich mit dem Härter des GL verträgt damit die Anlage für den GL verwendet werden kann) - Verdünnung + 1Schwapps Trocknungsbeschleuniger	

### Anlage 11: Fehlerbildverteilung der Waschung (09082801)

Fehlerbildverteilung: gewaschen

Links		Mitte		Rechts	
Sehr kleine Pickel	4	(sehr) kleines Loch	24	Fussel	2
Sehr kleine Löcher	9	Fussel	9	Loch	3
Fussel	3	Absetzung	6	Spritzer	1
flächenmäßige Pünktchen/ Benetzungs-	3	Pickel	5	Absetzung	1
Absetzung	1	Längliches Loch	2	Schwarz	2
Undefiniert (Pickel, Loch, Absetzung?)	2	Flächig (viel kleine Löcher)	21		
Keine Haftung → Umrandung (lt. Lackierfehler)	1	Schwarzes Loch	2		
		Mehrere Pickel auf einer Stelle	2		
		Lackläufer unter	1		
		Undefiniert (groß)	1		
		Blase?	1		

Sehr kleine Pickel	4
(flächenmäßige) Pünktchen	3
Mehrere Pickel auf einer Stelle	2
Sehr kleine Löcher	33
Längliches Loch	2
Loch	3
Fussel	14
Absetzung	7
Undefiniert (Pickel, Loch, Absetzung?)	2
Keine Haftung → Umrandung (lt. Lackierfehler)	1
Spritzer	1
Lackläufer unter	1
Undefiniert (groß)	1
Schwarz	2

## Anhang

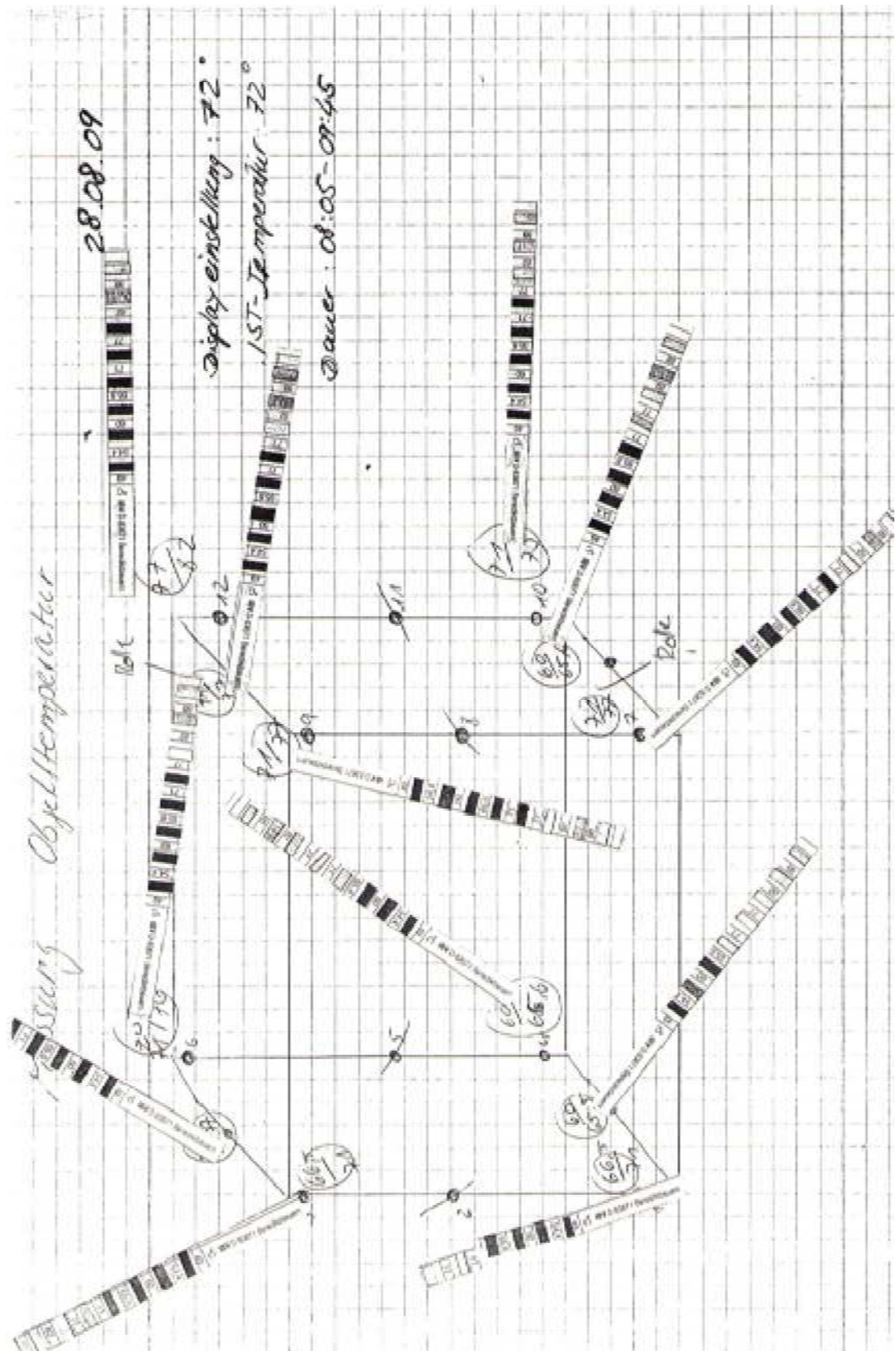
### Fehlerbildverteilung: ungewaschen

Links		Mitte		Rechts	
Absetzung	4	Fussel+ Pickel	1	Pickelansammlung	2
Pickel	3	Pickel	5	Fussel	1
kl. Löcher	12	flächig	19	Fussel+ Pickel	1
Fussel	2	Loch mit Erhebung	8	Absetzung	1
Loch mit Erhebung	3	Loch	8		
flächig	1	Fussel	6		
längliches Loch	1	undefiniert	3		
undefiniert	1	längliches Loch	1		
		Loch schwarz	1		
		Absetzung	2		

Absetzung	7
Pickel	8
kl. Löcher	12
Fussel	9
Loch mit Erhebung	11
flächig	20
längliches Loch	2
undefiniert	4
Fussel+ Pickel	1
Loch	8
Loch schwarz	1
Pickelansammlung	2
Fussel+ Pickel	1

	Gewaschen 0908280	Ungewaschen 0908280
Stück	200	180
Ausschuss	98 (49%)	84 (46,67%)

## Anlage 12: Nachweis der gemessenen Objekttemperatur



## Literaturverzeichnis

- [1] **o. V.:** Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie e.V. Online im Internet: URL: <http://www.gkv.de/index.html> (Stand 24.09.2009)
- [2] **Goldschmidt, Streitberger:** BASF Handbuch: Lackiertechnik. Hannover: Vincentz, 2002
- [4] **nach Creavac**
- [5] **Falbe, F.;Regitz, M. (Hrsg.):** Römpp Chemielexikon. – 9., erw. und Neubearb. Aufl.- Stuttgart: New York: Georg Thieme Verlag, 1995
- [7] **Eyerer, P.; Hirth, T.; Elsner,P;...:** Einführung in Polymer Engineering. Heidelberg: Springer Verlag, 2008
- [8] **Brock, Thomas; Groteklaes, Michael; Mischke, Peter:** Lehrbuch der Lacktechnologie. - 2. Aufl. - Hannover: Vincentz, 2002
- [10] **MSTI- Dokumentationsunterlagen**
- [11] **Ninetti, Paolo:** Lack für Einsteiger. – 3., überarbeitete Aufl.- Hannover: Vincentz, 2009
- [12] **Dr. Umrath, Walter:** Grundlagen der Vakuumtechnik. Köln: 1997
- [13] **Hofman, Hansgeorg; Spindler, Jürgen:** Verfahren der Oberflächentechnik. Leipzig: Carl Hanser Verlag, 2004
- [14] **Kienel, G.; Röhl, K. (Hrsg.):** Vakuumbeschichtung 2: Verfahren und Anlagen. Düsseldorf: VDI- Verlag, 1995
- [15] **Westkämpfer, E.; Warnecke, H.- J.:** Einführung in die Fertigungstechnik. – 4., überarb. Aufl. – Stuttgart u. a.: Teubner, 2001
- [16] **Ebneth, Harold und Mitautoren:** Metallisieren von Kunststoffen. – Band 462-. – Renningen- Malsheim: Expert Verlag, 1995
- [17] **Mertz, K. W.; Jehn, H. A.:** Praxishandbuch moderner Beschichtungen. Wien: Hanser Verlag, 2001
- [19] **o. V.:** Fehlstellenkatalog. Online im Internet: URL: [http://www.spieshecker.de/portal/de?page=4.1.1\\_Knowledge\\_Base\\_Categories&category=Fehlstellenkatalog](http://www.spieshecker.de/portal/de?page=4.1.1_Knowledge_Base_Categories&category=Fehlstellenkatalog) (Stand 03.11.2009)
- [20] **o. V.:** Lackierfehler. Online im Internet: URL: [http://www.dupontrefinish.de/portal/de?page=4.1.1\\_Knowledge\\_Base\\_Categories&category=Lackierfehler](http://www.dupontrefinish.de/portal/de?page=4.1.1_Knowledge_Base_Categories&category=Lackierfehler) (Stand 03.11.2009)



- [21] **Pietschmann, J.:** Industrielle Pulverbeschichtung. – 2. überarb. Aufl. - Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag/ GWG Fachverlage GmbH, 2003
- [22] **Mankiewicz:** Lacktechnisches Seminar. Hamburg: 01./02.10.2009
- [23] **Osterhold, M.; Frigge, E.:** Krater, Kocher, Schmutz und Co.- Mikroskopische Fehstellenanalyse. Online im Internet: URL: <http://www.aktuelle-wochenschau.de/2007/woche40/w40.html> (Stand 31.10.2009)
- [24] **o. V.:** Lackierfehler. Online im Internet: URL: <http://www.sikkenscr.de/img/pdf/Lackierfehler.pdf> (Stand 05.08.2009)
- [25] **Mertz, K. W.; Jehn, H. A.:** Praxishandbuch moderner Beschichtungen. Wien: Hanser Verlag, 2001
- [26] **Domininghaus, H.; Elsner, P.; Eyerer, P.:** Einführung in Polymer Engineering. – 7., neu bearb., erw. Aufl. - Berlin, Heidelberg: Springer, 2008
- [27] **o. V.:** Lackierung von Kunststoffserzeugnissen. Online im Internet: URL: <http://www.eu-nano-auto.de/Lackierung-von-Kunststoffserzeugnissen.html> [Stand 10.08.2009]
- [28] **nach dem Technologieblatt R&H**
- [29] **nach dem Technologieblatt Berlac**
- [30] **Hanhart, T.:** Lacke. Online im Internet: URL: <http://www.tobias-hanhart.de/Referate/Lacke/Lacke.html> (Stand 21.08.2009)
- [31] **o. V.:** Raasch Luftfilter. Online im Internet: URL: <http://www.raasch.de/index.html> (Stand 21.08.2009)
- [33] **o. V.:** REM/ EDX. Online im Internet: URL: [http://www.tf.uni-kiel.de/cma/html/rem\\_edx.html](http://www.tf.uni-kiel.de/cma/html/rem_edx.html) (Stand 21.01.2010)
- [34] **o. V.:** Rasterelektronenmikroskopie (REM/ SEM). Online im Internet: URL: <http://www.physik.uni-jena.de/~fpraktik/fpr/Anleitung/REM.pdf>. (Stand 21.01.2010)
- [35] **Franz, G.:** Niederdruckplasmen und Mikrostrukturtechnik. - 3. Aufl. - Berlin u. a.: Springer- Verlag, 2004
- [36] **Hering, E. (Hrsg.) :** Taschenbuch für Wirtschaftsingenieure. Leipzig: Fachbuchverlag, 1999/ 2001
- [37] **Menz, W.; Mohr, J.; Paul, O.:** Mikrosystemtechnik für Ingenieure. - 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. – Weinheim: Wiley- VCH Verlag, 2005

- [38] **Müller, K.-P.:** JOT Oberflächentechnik: Praktische Oberflächentechnik. - 2., verbesserte Aufl. – Braunschweig: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 1996
- [39] **Nanetti, Paolo:** Lack von A bis Z. Hannover: Vincentz, 2004

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

- dass ich die vorliegende Studienarbeit selbstständig angefertigt,
- keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt,
- die wörtlich oder dem Inhalt nach aus fremden Arbeiten entnommenen Stellen, bildlichen Darstellungen und dergleichen als solche genau kenntlich gemacht und
- keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen habe.

Dresden, 15. März 2010